

VERSÃO DO AUTOR.

A VERSÃO ORIGINAL POR SER CONSULTADA EM

[https://issuu.com/associacaoportuguesaageologos/docs/geonovas\\_n29](https://issuu.com/associacaoportuguesaageologos/docs/geonovas_n29)

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS

GEONOVAS N.º29: 03 a 42, 2016

Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Carlos Augusto Alves Leal Gomes

Universidade do Minho, EC-DCT, Gualtar, 4710-057 BRAGA-P –  
caal.gomes@gmail.com

### Resumo

À escala dos mercados globais o Ta é um metal cujo aprovisionamento pode ser considerado errático, sujeito a oscilações importantes. Um primeiro imperativo de optimização para a valorização de concentrados de Ta é a proporção

de “pentóxido” que o produto transacionável deve comportar para que possa ser comercializado aos mais altos valores

unitários:  $Ta_2O_5 > 30\%$ . Esta proporção tem como factor limitante natural a grande diversidade mineroquímica das fases

portadoras que ocorrem em depósitos primários, o que suscita muitas vezes a adopção pós – mineralúrgica de correcções

de teor (“blending”), procurando, com lotes de diferentes cargas tantalíferas, valorizar os minérios.

No N de Portugal, a maioria dos depósitos primários de Ta, essencialmente pegmatíticos, dispõe-se segundo uma

faixa NW – SE que segue aproximadamente as trajectórias de estruturação orogénica, Varisca, atribuídas às 2ª e 3ª fases

de deformação. A localização das jazidas de tipo placer, acompanha esta tendência, reflectindo a relação proximal com

as jazidas primárias.

Destacam-se deste padrão as mineralizações situadas em fácies apograníticas (leucogranitos de cúpula) por vezes

estruturadas em complexos exo-granito / endo-granito com “stock – sheider”, como é o caso das mineralizações de Montesinho e Seixigal, a que correspondem os mais baixos teores mas, potencialmente, as tonelagens mais elevadas.

Entre os placeres, parece ser em aluviões da Cumieira e Ribeiro Salgueiro, na Serra de Arga, e em aluviões da Ribeira

da Gaia em Belmonte, Guarda que se podem obter os minérios de melhor qualidade.

Quanto aos depósitos primários, os concentrados de mais alto valor podem ser apurados em fácies aplito-pegmatíticas

LCT, lepidolíticas, das regiões da Régua e da Guarda e ainda nas unidades tardias de tipo brecha hidrotermal ou de

colapso em pegmatitos intra-graníticos como os do Grupo de Senhora de Assunção.

Valores de 150-200 ppm de Ta podem ser considerados um padrão aceitável para considerar as jazidas como

potencialmente interessantes prevendo que alguns conteúdos em “ore-shoots” possam variar de forma consistente entre

300 e 1500 ppm.

No que diz respeito aos pegmatitos graníticos, parece iniciar-se agora um novo ciclo de procura, evidência de reservas

e eventual exploração que tem como objectivo o Li metálico (como Li

2CO<sub>3</sub>). É pois de considerar com seriedade a possibilidade de obtenção sucedânea de concentrados de Ta até porque no caso das jazidas lepidolíticas existe uma associação

muito marcada entre concentrações de Li e Ta, o que justifica equacionar o aproveitamento integrado dos dois minérios.

Palavras-chave: Tântalo, paragénese, minérios, teores, depósitos, Varisco, pegmatito, Portugal.

#### Abstract

Tantalum global supply may be considered erratic submitted to major price oscillations in time. A first imperative for the value attribution to Ta

concentrates is the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proportion, which must be superior to 30% to achieve the highest values in the market. This proportion is determined by the

diversity of ore minerals present in the concentrates, which may implicate some grade correction in a post treatment stage of enhancement of the obtained ores.

In Northern Portugal the majority of Ta-deposits, belong to the pegmatite type and follow a Variscan Orogenic trend, NW-SE, which main megastructures are attributed to

2

nd

and 3

rd

folding phases. Placer deposits accompany these trend thought they are proximal to the primary ones.

A few apogranite type concentrations do not follow the same spatial arrangement, occurring in isolated cupola leucogranites and stock-sheiders, as in

Montesinho and Seixigal. Here Ta grades are low, however large tonnages can be expected.

#### Introdução

À escala dos mercados globais o Ta é um metal cujo aprovisionamento pode ser considerado errático, sujeito a oscilações importantes, uma vez que

grande parte da produção é proveniente de regiões em conflito ou económica e socialmente degradadas e também pela instabilidade do seu apuramento em contextos naturais e industriais múltiplos -pon dentes a diferentes tipos genéticos de jazigos

minerais, diferentes estados e condições de processamento dos minérios e diferentes quadros de valorização de subprodutos.

Um primeiro imperativo de optimização para a valorização de concentrados de Ta é a proporção de “pentóxido” que o produto transacionável deve comportar para que possa ser comercializado aos mais altos valores unitários: Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>30%. Outras condições de mercado incluem a imposição de barreiras muito restritivas aos conteúdos de componentes contaminantes e penalizam tes, tolerados nos circuitos de comercialização (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

, TiO<sub>2</sub>

,

SnO<sub>2</sub>

, SiO<sub>2</sub>). Nestas condições a sustentabilidade

do aprovisionamento organiza-se em quatro eixos

estratégicos principais:

– evidência de jazidas ou reavaliação de regiões mineiras dos

países industrializados e redimensionamento de jazidas

conhecidas, no sentido da detecção de fontes específicas destes

concentrados (mesmo que essas fontes sejam de pequena dimensão ou o Ta seja considerado como mero subproduto da lavra dirigida a outras substâncias);

- optimização da lavra mineira, via monitorização geológica, em países em vias de desenvolvimento, onde a mão de obra intensiva é responsável pela maior parte da produção;
- certificação de proveniência, procurando obstar ao aprovisionamento a partir de regiões em conflito;
- desenvolvimento da mineralogia e análise paragenética, aplicadas ao apuramento de concentrados em subprodutos mineiros e à manipulação de concentrados (“blending” de base mineralógica e paragenética para o incremento das cotações e depuração de penalizantes).

No que respeita aos recursos mundiais, a América do Sul comporta os maiores quantitativos de reservas calculadas, na ordem das centenas de milhares de toneladas, que perfazem cerca de 40% do total de recursos globais conhecidos. À Austrália são atribuídos, aproximadamente, 21% dos recursos conhecidos seguindo-se a China e o Sudoeste Asiático, com 10%, a Rússia e o Médio Oriente, com 10% e a África Central, com 10% também. O resto da África, a América do Norte e a Europa, com um somatório pouco menor que 10% completam o total de recursos conhecidos.

Considerando a procura crescente e os altos valores unitários que os concentrados de Ta podem atingir, o território de Portugal conta com potencialidades discretas, mas viáveis, tanto em termos de jazidas polimetálicas com Ta como de produtos tantalíferos sucedâneos da lavra e beneficiação dirigidas a outras substâncias.

Os principais tipos de depósitos minerais são os placeres que acolhem detritos pegmatíticos e, tipicamente, os pegmatitos primários relacionados com

a fraccionação residual dos granitos Variscos, e ainda algumas fácies apograníticas que culminam a evolução primária e deutérica desses mesmos granitos.

Neste estudo, para ilustrar a diversidade das jazidas e mineralizações, recorre-se à análise estrutural e paragenética das concentrações e à mineroquímica de fases portadoras de Nb e Ta, em trabalhos que têm sido efectuados sobre numerosos pequenos depósitos do N de Portugal, com especial relevo para os depósitos pegmatíticos (Cotelo Neiva, 1954; Leal Gomes, 1991; Leal Gomes, 1994; Leal Gomes, 1995; Moura et al., 2010; Ferreira et al., 2014). São seleccionados alguns dados de geoquímica e imagens obtidas em microscópio electrónico de varrimento (MEV), em modo electrões retrodifundidos (ER) e

4 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

The more interesting placers, producing higher grade concentrates, are located in Cumieira and Salgueiro Stream at Serra de Arga and also in Gaia Stream alluvial deposits in Guarda region.

In what concerns primary deposits, the highest valuable concentrates are obtained in aplite-pegmatites of LCT - lepidilite type from Régua and Guarda regions, and also in late inner-units of breccia type, from inner-granite hybrid pegmatites such as those from Senhora de Assunção in Viseu.

Values of 150-220 ppm Ta are an acceptable standard to consider the potentiality of a given Ta target considering the possibility that some inner ore-shoots may achieve a consistent threshold of 300 to 1500 ppm.

In what concerns Portuguese granite pegmatites recent exploration programs are dedicated to lithium mineralizations corresponding to a new cycle of market demand. The possibility of recuperation of Ta ores as by-products should be considered and should condition the exploration programs, given the fact that higher Li contents are intimately and positively correlated with the highest Ta grades of the deposits and its potential products.

Keywords: Tantalum, paragenesis, ores, grades, deposits, Variscan, pegmatite, Portugal

também resultados de difractometria de raios X sobre pós (DRX), especialmente, no caso das identificações de fases portadoras de Ta e minerais relacionados.

Desta aproximação emana a proposta de síntese e também a sistematização sobre a diversidade de modos de jazida de minerais de Ta e sobre o seu eventual estatuto no computo de recursos base de metais estratégicos e críticos de Portugal.

Metodologicamente, abordam-se a diversidade e a distribuição regional dos depósitos e campos mineiros que os incluem, a síntese sobre os conhecimentos actuais relativos às condições de mineralização tantalífera em contexto pegmatítico Varisco, a análise descritiva e anatomia de alguns destes depósitos, que se consideram mais significativos do ponto de vista das concentrações atingidas, a sistematização da diversidade de fases portadoras de Ta e

uma discussão sobre os teores e tonelagens que são alcançados em alguns depósitos mais relevantes.

Distribuição Regional de Jazidas e sua Tipologia

Na figura 1 encontra-se um esboço da distribuição regional dos depósitos minerais conhecidos que apresentam concentrações significativas de Ta, reflectindo a sua classificação essencial: pegmatitos, apogranitos e placeres. A maioria dos depósitos pegmatíticos relevantes dispõe-se segundo uma faixa NW – SE que segue aproximadamente as trajectórias de estruturação megaescalar da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica tal como está definida em Leal

Gomes (1994) – especialmente dependente da deformação e metamorfismo atribuídos às 2ª e 3ª fases

Variscas de deformação (D2-D3).

Também a localização das jazidas secundárias, de tipo placer, acompanha esta tendência geográfica, reflectindo a íntima relação de proximidade com as jazidas primárias.

Destacam-se deste padrão as mineralizações situadas em fácies apograníticas (leucogranitos de cúpula) por vezes estruturadas em complexos exogranito / endo-granito com “stockwork”, como é

o caso das mineralizações de Montesinho e Seixigal,

a que correspondem certamente os mais baixos teores mas, potencialmente, as tonelagens mais elevadas. Na tabela 1 distinguem-se os tipos principais de pegmatitos Variscos que representam a diversidade observada no N de Portugal, aludindo às mineralizações que os mesmos comportam e salientando os casos em que a mineralização tantalífera é significativa.

Além das rúbricas intuitivas são termos de discriminação - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes 5

Figura 1 – Distribuição regional dos recursos e depósitos minerais de Ta – indicam-se alguns lineamentos que estruturam aquela distribuição.

Figure 1 – Regional distribution of Ta resources and ore deposits – the major structural lineaments controlling the distribution are presented.

6 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Tabela 1 – Tipos pegmatíticos variscos – anatomia e classificação para o N de Portugal.

Table 1 – Variscan pegmatite types - anatomy and classification for Northern Portugal.

LOCAL

(paradigmático)

POSIÇÃO CAMPO TIPO ATRIBUTO GRANITO P.

ID.

(MA)

ESTRUTURA DE

ACOLHIMENTO

PARAGÉNESE

TIPO MÓRFICA

UNIDADES

TIPO MÓRFICAS

ASSOCIAÇÃO

METALÍFERA

Alto dos Teares 1 exo-G Valença MOSCOVÍTICO simples 2 m (anatexia) 350 migmatitização granada, silimanite Fe, Mn

Alto dos Teares 2 endo-G Valença NYF simples zonado biot. (subalcalino) 280 delaminação turmalina, fluorite Zl amazonítica U, Th, Nb, Y, Be

Taião exo-G Valença NYF simples zonado biot. (subalcalino) 280 delaminação turmalina. berilo Zl amazonítica U, Th, Nb, Y, Be

Felgueira endo-G Valença NYF simples zonado biot. (subalcalino) 280 “degassing”/“bubbling” “clorite” Zl amazonítica U, Th, Nb, Y, B

Tourém endo-G Gerês NYF simples zonado biot. (subalcalino) 280 “degassing” fluorite, aragonite, zeólitos

Zl amazonítica U, Th, Nb, Y, Be

Pala endo-G Gerês NYF simples zonado biot. (subalcalino) 280 “bubbling” topázio, fluorite

cavidades miarolíticas nucleares

U, Th, Nb, Y, Be,

(Sn)

Paredes endo-G

Gerês -Terras

do Bouro

NYF simples zonado biot. (subalcalino) 280 relaxação/delaminação quartzo fumado cavidades miarolíticas nucleares

Be, (Sn)  
V. Furnas endo-G  
Gerês - Terras  
do Bouro  
NYF –  
hiperalcalino - Na  
simples zonado biot. (subalcalino) 280 relaxação/delaminação  
apatite, clinocloro,  
epídoto  
Zl peristerítica  
U, Th, Nb, Y, Be  
Ti  
Carvalheira endo-G Terras do Bouro híbrido zonado  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305  
“mingling” com  
expansão apical e  
“balloning”  
andaluzite, pirite,  
pirrotite, ilmenite,  
apatite, turmalina  
Zl andaluzítica  
U, Th, Nb, Y, Be  
Ti, T.R.  
Covide endo-G  
Gerês - Terras  
do Bouro  
NYF – hiperalcalino – K, Fe  
zonado, bandado biot. (subalcalino) 280 descompressão apical  
monazite, xenotima,  
escorlite, sulfuretos,  
euclase, F-apatite,  
berilo, fluorite  
ZM bandada  
U, Th, Nb, Ti,  
T.R., Y, Sc  
(T.R. > Nb)  
Dornas endo-G  
Terras de Bouro –  
Ponte da Barca  
híbrido (Be) zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305 chaminé aracniforme  
berilo, zircão e  
columbite – quartzo  
róseo nuclear  
U. Tardia micácea  
Be, Nb, Ta, Zr  
(Be > Nb>Ta)  
Muro Alto 1  
exo-G a endo-G,  
transicional  
Vieira do Minho

LCT – berilo,  
ambligonite  
zonado, complexo 2 m (anatexia) 330  
junção de  
cisalhamentos  
mica, berilo, zircão,  
columbite,  
ambligonite  
U. Tardia micácea Be >Ta=Nb>Cs  
Muro Alto 2  
exo-G a endo-G,  
transicional  
Vieira do Minho  
LCT – lepidolite,  
turmalina  
zonado, complexo 2 m (anatexia) 310  
junção de  
cisalhamentos  
elbaite, lepidolite,  
microlite  
brecha  
hidrotermal  
Li >Ta>Cs  
Seixas endo-G  
Terras de Bouro –  
Ponte da Barca  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfíroide  
305 “balloning” em cúpula Fosfatos de Fe, Mn  
Núcleo de quartzo  
com cavidades  
miarolíticas  
Mn, Fe  
Penedo do Filho endo-G  
Terras de Bouro –  
Ponte da Barca  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfíroide  
305  
“mingling” com  
expansão apical e  
“balloning”  
andaluzite, apatite,  
ilmenite, Nb-rutilo,  
esfena, cassiterite  
U. precoce com  
andaluzite  
U. tardia com  
cassiterite  
Sn, Al (Nb,Ta)  
Mata da  
Galinheira  
endo-G

Terras de Bouro –  
Ponte da Barca  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)

– porfíróide  
305

“mingling” com  
expansão apical e  
“balloning”  
quartzo róseo nuclear  
Fe, Cu, Zn,  
Bi, Ag

Pedra da Moura endo-G

Terras de Bouro –  
Ponte da Barca  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)

– porfíróide  
305

“mingling” com  
expansão apical e  
“balloning”  
quartzo róseo nuclear, fosfatos (inc.  
ximengite), sulfossais  
e sulfuretos e berilo

U. perinucleares

a) fosfática – Li,

Mn, Fe, Mg

b) F-apatite/pirite

gráfica

c) blenda/ quartzo

gráfica

Ti, Li

Ti, (Nb), T.R.

Ti, Pb, Bi, Ag

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes 7

Tabela 1– Tipos pegmatíticos variscos – anatomia e classificação para o N de Portugal (cont.).

Table 1 – Variscan pegmatite types - anatomy and classification for Northern Portugal (cont.).

LOCAL

(paradigmático)

POSIÇÃO CAMPO TIPO ATRIBUTO GRANITO P.

ID.

(MA)

ESTRUTURA DE

ACOLHIMENTO

PARAGÉNESE

TIPOMÓRFICA

UNIDADES

TIPOMÓRFICAS

ASSOCIAÇÃO

METALÍFERA

Vergaço endo-G Terras de Bouro híbrido zonado, complexo

2 m (bi)



– porfiróide  
300  
junção de  
cisalhamentos  
scheelite, voframite  
wodginite, rútilo,  
sulfuretos e sulfossais  
e Bi nativo  
U. substituição,  
brecha hidrotermal  
W, As, Bi, Nb,  
Ti, Ta  
W>>Ti>Bi>Nb  
Arreigada D1 endo-G  
Paços de Ferreira,  
Penafiel, Marco  
de Canavezes  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305  
“mingling” de cúpula  
com expansão apical e  
“balloning”  
quartzo nuclear com  
sulfossais de Bi e Pb,  
escorlite nas transições de zonas  
Núcleo de quartzo  
miarolítico, hialino a fumado e  
ametista  
Fe, Bi, Pb  
Arreigada D5 endo-G  
Paços de Ferreira,  
Penafiel, Marco  
de Canavezes  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305  
“mingling” de cúpula  
com expansão apical e  
“balloning”  
andaluzite, ilmenite,  
esfena, monazite,  
Nb-rútilo  
ZI andaluzítica Al, Ti, Fe, Nb, Be  
Arreigada D6 endo-G  
Paços de Ferreira,  
Penafiel, Marco  
de Canavezes  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305  
“mingling” de cúpula

com expansão apical e  
“balloning”  
topázio  
Núcleo de quartzo  
miarolítico  
Nb  
Castelinho endo-G  
Paços de Ferreira,  
Penafiel, Marco  
de Canavezes  
híbrido zonado, complexo  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305 colapso de cúpula  
arsenopirite,  
lollingite  
Núcleo de quartzo  
miarolítico,  
hialino a fumado  
As, Fe, Bi  
Castilho endo-G  
Paços de Ferreira,  
Penafiel, Marco  
de Canavezes  
híbrido complexo  
2 m (bi)  
– porfiróide  
305 colapso de cúpula F-apatite, berilo  
U. substituição  
micácea cavernosa  
com fosfatos  
Fe, Be, Nb  
Seixigal  
exo-G/endo-G  
com  
“stock-sheider”  
Seixigal NYF  
bandado, zonado,  
com brecha  
hidráulica  
biot. (subalcalino)  
– “mingling”  
290  
colapso de cúpula,  
“stock-sheider”  
apatite, escorlite,  
cassiterite, tantaites,  
fenacite, bertrandite  
brecha hidráulica,  
“stock-sheider”  
Be, Sn, Nb, Ta  
Senhora  
de Assunção  
endo-G  
Sátão – Aguiar

da Beira  
 híbrido (c/ berilo)  
 bandado, zonado,  
 complexo, miarolítico, brechóide  
 2 m (bi)  
 – porfiróide  
 em corredor de  
 “mingling” e  
 “bubbling”  
 305  
 “mingling” de cúpula  
 com expansão apical e  
 “balloning, colapso de  
 cúpula e fracturação  
 hidráulica  
 berilo, columbitetantalite, pirocloros,  
 ixiolites, zircão, monazite, bertrandite,  
 fenacite, molibdenite, fosfatos de Ca,  
 (Li, Al), (Li, Mn, Fe)  
 e (Mn, Fe, Mg),  
 fluorite, oligonite  
 gigaberilos e fosfatos nas transições  
 de zonas, núcelo  
 miarolítico, brecha  
 hidráulica, e de  
 colapso, ZM  
 bandada <=>  
 “line-rock”  
 Nb,Ta>Be>Li>W>>  
 Mo>Cu,U>Zn  
 c/segregações  
 schliereníticas de  
 BI por digestão de  
 “roof-pendants”  
 Fraga endo-G  
 Sátão – Aguiar da  
 Beira  
 híbrido (c/ berilo) zonado, complex  
 2 m (bi)  
 – porfiróide em  
 corredor de “mingling” e “bubbling”  
 305  
 leucogranito  
 “bubbling”  
 sulfuretos, turmalina,  
 fosfatos  
 bolhas miarolíticas Fe, Ca  
 Cumo endo-G  
 Sátão – Aguiar  
 da Beira  
 híbrido =>NYF zonado, complexo  
 2 m (bi)  
 – porfiróide  
 305 relaxação clorites + mica (Fe)  
 Fosfatos Ca, Fe,

Mn  
 Fe  
 Vila Longa endo-G  
 Sátão – Aguiar  
 da Beira  
 híbrido zonado, complexo  
 2 m (bi)  
 – porfíroide  
 305  
 cisalhamento e  
 “mingling”  
 Núcleo de quartzo  
 tendencialmente  
 hialino  
 Real endo-G  
 Sátão – Aguiar  
 da Beira  
 híbrido zonado, complexo  
 2 m (bi)  
 – porfíroide  
 305 relaxação de cúpula  
 F-apatite, bertrandite, mica, cassiterite,  
 OH-herderite  
 Núcleo miarolítico Sn, U, Be  
 Queiriga transição  
 Sátão – Aguiar  
 da Beira  
 LCT  
 ap-peg bandado,  
 zonado, metassomático, complexo  
 “mingling” 2 m + 2  
 m (bi) – porfíroide  
 310  
 transição G – peg.  
 “sill” enraizado  
 – sector proximal  
 fosfatos, sulfuretos,  
 carbonatos, Nb-tantalatos, tungstatos,  
 aluminossilicatos de  
 Li, aluminossilicatos  
 de Be  
 U. substituição e  
 de digestão interna  
 (similares a endoskarns)  
 Li, Be, Ta, Nb, W,  
 Sn, Bi, Cu, Pb,  
 Zn, Fe  
 Li>Sn>W>Ta>Nb>  
 Be

8 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Tabela 1– Tipos pegmatíticos variscos – anatomia e classificação para o N de Portugal (cont.).

Table 1 – Variscan pegmatite types - anatomy and classification for Northern Portugal (cont.).

LOCAL

(paradigmático)

POSIÇÃO CAMPO TIPO ATRIBUTO GRANITO P.

ID.

(MA)

ESTRUTURA DE

ACOLHIMENTO

PARAGÉNESE

TIPOMÓRFICA

UNIDADES

TIPOMÓRFICAS

ASSOCIAÇÃO

METALÍFERA

Santa Cristina exo-G Serra de Arga

NYF

- hiperaluminoso

zonado com salbanda micácea

deformado

2 m (anatexi

autóctone)

335

cisalhamentos

conjungados

tapiolite, Ta-rútilo,

ixiolite, crisoberilo,

anatase, lazulite –

scorzalite

U. substituição

micáceas e de

fosfatização

Ta>Nb>Be>Al

Balouca N exo-G Serra de Arga LCT – turmalina bandado 2 m 310 “sill” distal

elbaite (Fe), olenite

nodular

aplito nodular,

corôas sobre

gigafeldspatos

(texturas em septo)

Li, Sn, As, Ta, Nb,

Ba, Sr, Be, T.R.

Ta>Nb>Be>Al

Balouca S exo-G Serra de Arga

LCT – lepidolite,

elbaite

zonado complexo 2 m 290

filão “cruzador” em cisalhamento tardio

lidicoatite, lepidolite,

tantalite

U. substituição

micácea múltipla

Li, Ta, Nb, Sn, Cs,

Fe, Be

Ta>Nb>Be>Al

Formigoso exo-G Serra de Arga LCT - petalite bandado a zonado 2 m 315

junção de

cavalgamentos  
 D2=>D3, "sill"  
 petalite, FK,  
 cassiterite, tantalite,  
 lollingite  
 bandas "com" Li, Sn, Nb, Ta, As  
 Verdes exo-G Serra de Arga bandado a zonado 2 m 315 D2=>D3, "sill"  
 petalite=>espodumena ambignonitemontebrazite  
 células oclares e  
 bandas com espodumena  
 Li, Sn, Ta, Nb  
 Cabração exo-G Serra de Arga bandado a zonado 2 m 310 Li, Sn, Ta, Nb, W  
 Picoto do  
 Carvalho  
 exo-G Serra de Arga  
 LCT – petalite/  
 espodumena  
 bandado a zonado,  
 milonítico  
 2 m 320  
 Zona de cisalhamento  
 D2-D3  
 espodumena, ambignonite, tantalite,  
 casiterite e micas  
 (in V-moscovite)  
 células oclares e  
 bandas com espodumena, cataclasito, filonito,  
 milonito  
 Li>Ta>Nb>Sn>  
 Be>Al  
 Lourinhal transição Serra de Arga híbrido (NYF)  
 bandado zonado,  
 complexo  
 2 m 325  
 corpo helicoidal em  
 delaminação apical  
 fosfatos, berilo,  
 escorlite  
 Unidades bandadas  
 "comb"  
 Be, Fe, Al  
 Covelinhas exo-G Régua LCT-lepidolite bandado 2 m 310 "sill"  
 lepidolite, tantalite,  
 ambignonite  
 bandas de composição variável  
 ritmicamente  
 Li, Ta, Nb, Be  
 Li>Ta>Nb  
 Afife 1 endo-G Litoral N LCT-espodumena bandado 2 m 310 "sill"  
 espodumena,  
 turmalina  
 estruturas de fluxo Li, As  
 Afife 2 endo-G Litoral N LCT-espodumena bandado 2 m 310 "sill" espodumena  
 estrutura "comb"  
 cataclástica

Li, As  
 Vela endo-G Guarda  
 LCT- berilo,  
 ambligonite  
 2 m (bi) porfiróide  
 / 2m  
 310 "sill" proximal  
 topázio, ambligonite, montebrasite  
 Zl albítica Be, Nb, Ta, Li  
 Portomé endo-G Guarda  
 LCT-lepidolite,  
 elbaite  
 bandado a  
 zonado, complexo  
 2 m (bi) porfiróide  
 / 2m  
 305 "sill" distal  
 lepidolite, topázio,  
 elbaite-lidicoatite,  
 ambligonite-montebrasite, microlite,  
 tantalite, simpsonite  
 U. substituição e  
 cavidades miarolíticas nucleares com  
 preenchimento  
 cookeítico  
 Li, Ta, Nb, Cs, Be,  
 Ca, Sn  
 $Li > Ta > Nb > Cs$   
 Melo endo-G Guarda  
 LCT- berilo,  
 ambligonite  
 zonado  
 2 m (bi) porfiróide  
 / 2m  
 310 "sill" proximal berilo, bertrandite  
 cavidades miarolíticas em feldspato  
 com zinwladite  
 Be, Ca, Fe, Li  
 nação das classes e famílias pegmatíticas, organizadas  
 segundo a dicotomia de assinaturas e linhagens geoquímicas Li, Cs e Ta ou Nb, Y  
 e F (LCT/NYF), os  
 seguintes elementos descritivos:

- campo – divisão regional de 4ª ordem segundo Cerny (1982), na qual se inclui a unidade elementar pegmatito;
- atributo – atende à estrutura interna (homogênea em contraponto de heterogênea, zonada ou bandada e, eventualmente, complexa, quando existem unidades de substituição;
- granito parental (P) – atende à discriminação macroscópica de fácies, que também é convencionalmente utilizada em cartografia sistemática

e ilustra a situação orogénica e as correspondentes fontes magmáticas;

- idade (ID) – é apresentada uma idade de referência, equivalente à inclusão num grupo de

idades para os granitos usando as sínteses funcionais de Pinto (1985) e Ferreira et al. (1987);

- estrutura de acolhimento – reflecte a geometria e a cinemática das estruturas orogénicas de acolhimento, mais ou menos permissivas e as condições de mistura e ascensão de magmas graníticos (Leal Gomes & Lopes Nunes, 2003);
- paragénese e unidades tipomórficas – são estes os termos que permitem refinar a tipologia indiciando filiações e a produtividade metalogénica;

- associação metalífera – é nesta rubrica descrevem-se os pegmatitos que apresentam manifesta apetência tantalífera.

As especializações LCT e NYF dos pegmatitos Variscos Portugueses (expressas em elementos e minerais) podem ser consideradas como assinaturas do controlo tectónico da sua implantação e da filiação (Leal Gomes, 2005):

- a assinatura NYF, é típica de pegmatóides hiperaluminosos possivelmente gerados por segregação metamórfica ou anatexia directa; posterior -mente, ocorre em pegmatitos amazoníticos relacionados com granitos epizonais, pós-tectónicos de tipo I e subalcalinos;
- a assinatura NYF tem maior amplitude de expressão espacial e a respectiva implantação está

relacionada com a evolução das 2ª e 3ª fases

Variscas de deformação (D2 e D3) e com granitos sincolisionais, de tipo S, de duas micas,

meta-aluminosos a peraluminosos.

As assinaturas intermédias a tardias relativamente a

D3 são de tipo híbrido LCT – NYF, em coerência

com os fenómenos de mistura magmática que caracterizam os magmas percussores dos granitos

essencialmente biotíticos e frequentemente porfíroides em que se alojam estes pegmatitos.

Características e Condições de Mineralização

Tantalífera dos Pegmatitos

Cotelo Neiva (1954) descreve as mineralizações

de Sn, Nb e Ta nos pegmatitos das minas de

Cabração, no flanco oriental da Serra de Arga, e

constata a existência de “ore-shoots” que materializam

a distribuição espacial heterogénea da cassiterite e

columbite tantalite no seio das massas pegmatíticas

que são aproximadamente homogéneas. Esta constatação é uma primeira indicação do carácter errático

e mesmo imprevisível de algumas das distribuições

das mineralizações de Ta que por vezes têm que ser

enfrentadas na prospecção e mineração, especialmente quando os minérios são finamente granulares

e disseminados em massas pegmatíticas ou apograníticas de estrutura homogénea. Tal como no caso

da Cabração, onde um fenómeno de albitização

muito discreto e pervasivo parece estar na origem da

definição dos “gem-shoots” tantalíferos, a compreensão

detalhada da paragénese que comporta as mineralizações é essencial para orientar a procura das concentrações mais altas e dos compartimentos de



depósito de aproveitamento viável.

Mineralizações precursoras – pegmatóides

Entre as mineralizações de Ta mais precoces que se conhecem no N de Portugal, incluem-se alguns óxidos com altos conteúdos de Ta que ocorrem no interior de veios aplito-pegmatíticos precoces da região da Serra de Arga no Minho (Fig.1) (Leal Gomes et al.,2009). Estes têm carácter hiperaluminoso a ultra-aluminoso (apresentam altas percentagens de coríndon modal e virtual, calculado normativamente a partir de análises químicas de rocha total) e a sua génese relaciona-se com situações de fusão parcial localizada em níveis Silúricos, vulcanogénicos a exalativos, enriquecidos em certos tipos de depressores de “liquidus”magmático. São por isso referidos como pegmatóides. Segundo Dias (2012) estes veios dependem de segregação metamórfica localizada e a presença sistemática de turmalina remobilização, também precoces, na sua vizinhança imediata, sugere que o boro é o principal agente ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes 9

fundente, fluxante e fluidificante, capaz de promover a mobilização de tais leucossomas muito aluminosos, especialmente alojados em certas formações de carácter sedimentar - exalativo.

Nos casos de deformação sobreposta mais extrema os veios de composição hiperaluminosa são tão estreitos e as suas litologias encontram-se tão deformadas e transformadas (cataclásticas a miloníticas) que aparentam o aspecto de meros leitos de micaxisto moscovítico. A análise paragenética e a minero-química dos óxidos de Nb-Ta

revelam sequências de fraccionação onde os termos principais são, rútilo, anatase, ilmenite, Nb, Ta-rútilos, Ti-ixiolite, Fe-columbite e tapiolite.

A evolução paragenética segue uma tendência com baixo conteúdo de Mn que não é típica dos pegmatitos mais comuns, mas aqui pode ser justificada pela existência de ciclos de “annealing-recovery” relacionados com o metamorfismo e a deformação da 2ª e 3ª fases Variscas (D2-D3) quando elas afectam fases primárias ricas em Ti e os níveis estratigráficos que as incluem (Leal Gomes et al., 2009).

A evolução, a alto Ta, dos óxidos que daí derivam dirige-se ao pólo tapiolite do quadrilátero dos Nb-tantalatos, sendo incrementada pela segmentação e deformação intracristalina dos cristais e clastos de minerais precoces com Ti, e é condicionada pelo comportamento geoquimicamente diferenciado do Ta relativamente ao Nb, especialmente, porque este último é mais estático e compatível.

Virtualmente todos os veios deste tipo mostram a mesma associação de minerais acessórios característica, com: andaluzite, lazulite-scorzalite, por vezes berilo e crisoberilo e óxidos com Fe, Ti, Ta, Nb (raramente Sn), em cristais singulares a compostos. Estes mostram as suas texturas mais complexas nas

fácies mais metamorфizadas, metasomáticas e mais deformadas (Figs. 2 e 3).

Neste caso, hipoteticamente, a diversidade dos óxidos de Nb-Ta é atribuída a reorganizações estruturais e

ao ordenamento cristalino em “subsolvus – subsolidus” e não se relaciona com a cristalização e fraccionação magmática a hidrotermal (Leal Gomes et al., 2009).

A análise cinemática regional (Leal Gomes, 1994) sugere que os veios hospedeiros destes óxidos

10 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 2– Mineralizações tantalíferas precoces em pegmatóides ultra-aluminosos empobrecidos em feldspatos

e portadores de andaluzite e corindo – a textura cataclástica a milonítica é perceptível.

Figure 2 – Early tantalum mineralizations in ultra-aluminous, feldspar-poor pegmatoids with andaluzite and corundum – cataclastic to mylonitic structure is perceptible.

representam uma primeira implantação de pegmatóides Variscos de diferenciação precoce e dependentes de fusão parcial. O correspondente neossoma ultra-alumionoso, é colhido em ambientes dilatacionais gerados ao longo de estruturas da fase Varisca D2 e nas suas subseqüentes reactivações

por cisalhamento. A presença de xenotima e

de Fe-columbite e a ausência de minerais ou

com teúdos significativos de Li e Cs sugerem a

inclusão destes veios na classe pegmatítica NYF, de

elementos raros. À sua génese primitiva e diferenciação paragenética, Dias (2012)

atribuiu uma

sequência sistemática, escalonada em quatro

estádios principais:

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

11

Figura 3– Mineralizações tantalíferas precoces de pegmatóides hiperaluminosos com crisoberilo, corindo

e lazulite-scorzalite.

Figure 3 – Early tantalum mineralizations in hiperaluminous pegmatoids with chrysoberyl corundum and lazulite-scorzalite.

1º - segregação mais ou menos difusa em protólito favorável;

2º - colheita de leucossoma em estruturas de D2

e cristalização controlada por incipiente fraccionação interna;

3º - mobilização espacial dos leucossomas para domínios espaciais quase migmatíticos;

4º - eventual coalescência em corpos maiores

tendentes para uma feição granular do tipo

granito de duas micas ou pegmatito cogenético.

Conceptualmente, a mineralização e fraccionação

dos Nb-tantalatos observada pode explicar-se pelo

facto da estrutura do rútilo ser frequentemente

considerada como a principal portadora primordial

de Ta e Nb, embora em situações de baixa profundidade crustal seja previsível uma

tendência para a

libertação da carga tantalífera (Barth et al., 2000).

Também a geoquímica das sequências aplitopegmatíticas sugere um carácter muito mais compatível do Nb, relativamente ao Ta – na partilha entre magmas e fluidos o Ta favorece a fase fluida (Leal Gomes, 1994).

Nos pegmatóides hiperaluminosos que foram estudados, as fases com a estrutura de tri-rútilo, tais como tapiolite tetragonal e as estruturas  $\text{-PbO}_2$

, tais como a columbite ortorrômbica, podem coexistir e exibir uma consanguinidade paragenética entre rútilo simples (estádios paragenéticos primitivos) e fases ricas em Nb e Ta geradas por reequilíbrios cristaloquímicos tardios. Tal como seria de prever, a libertação de Ta a partir de "loci" Ti para formar tapiolite precede a libertação de Nb (mais estático e compatível). Portanto a mobilização Ta/Nb, relacionada com transições metamórficas a metassomáticas

é atribuída a ajustes cristalinos, a altos conteúdos de Ta em "subsolvus" a "subsolidus" e decorre de uma sucessão de ciclos de "annealing-recovery", diferindo de por isso das tendências de cristalização primária magmático-hidrotermais.

No quadrilátero columbite-tantalite/tapiolite, a variação de Ta/Nb mostra uma maior magnitude do que Mn/Fe e uma tendência de deriva localizada a baixos valores de Mn. As tendências de evolução paragenética que atravessam o hiato geométrico do diagrama, entre columbite-tantalite e tapiolite, estão representadas por fases desordenadas com Ti (Fe-columbite desordenada, Ti-tapiolite e Ta, Nbrútilo) que se projectam no interior dessa lacuna

correspondente à inversão estrutural.

Do ponto de vista cristalográfico, as condições de transição de tapiolite – (columbite-tantalite), são ainda mal conhecidas, especialmente no que respeita aos ambientes subcrustais. Não obstante, ela foi verificada experimentalmente em condições de alta pressão. Por outro lado, o trabalho precursor de Turnock (1966), sugere um incremento da estabilidade da tapiolite, a alta temperatura. Aparentemente,

aquela transição pode ser considerada parte de uma sequência mais abrangente, face ao incremento de pressão e decréscimo de temperatura – rútilo (tetragonal)  $\Rightarrow$   $\text{-PbO}_2$ (ortorrômbico)  $\Rightarrow$  baddeleyite (monoclínico). Tal sequência também respeita

a geometria do hiato columbite – tapiolite no referido quadrilátero (columbite-tantalite) / tapiolite.

Na evolução dos pegmatóides Variscos precoces, a análise paragenética e a mineroquímica, parecem registar a seguinte sucessão de estruturas cristalinas metaestáveis, dependendo da variação multifásica de pressão e temperatura: rútilo  $\Rightarrow$  outros óxidos de Ti (Nb, Ta-rútilo – o Ta-rútilo predomina dada a libertação preferencial de Ta)  $\Rightarrow$  tri-rútilo como tapiolite  $\Rightarrow$   $\text{-PbO}_2$  como columbite-tantalite.

O contexto orogénico Varisco, do ponto de vista

metamórfico e deformacional, promove o “annealing” e a libertação preferencial do Ta a partir dos percursores titaníferos (possivelmente, ilmenite, rútilo ou anatase) no decurso da recuperação cristalina subsequente. A sucessão paragenética que expressa a remobilização do Ta acompanha de forma bastante nítida a deformação progressiva (Leal Gomes et al., 2009). A exsudação de moléculas de alto conteúdo tantalífero materializa rastros deltóides, franjas sigmoidais e microbandas aciculares estilolíticas, formadas por rotação, cisalhamento simples dúctil - frágil e estiramento.

Uma vez estabilizadas, todas estas fases com Nb-Ta permanecem em equilíbrio, mesmo em condições de aumento do calor irradiante a partir de focos térmicos relacionados com a implantação de granitos e a sua consolidação e evolução.

Mineralizações tardias – aplito-pegmatíticas típicas  
Os óxidos de Ta mais tipicamente magmáticos podem ocorrer disseminados em fácies bandadas aplítico-albíticas. A solubilidade da tantalite em magmas graníticos depende da temperatura, da relação entre alcalis e alumínio no líquido (Linnen & Cuney, 2005) e da abundância de constituintes fluxantes/fluidificantes (Bartels et al., 2010).

A nível mundial, e na maior parte dos depósitos explorados, os teores de Ta variam entre algumas centenas e poucos milhares de ppm. Para atingir

12 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

estas concentrações, a partir de dados experimentais sobre a solubilidade da molécula Mn-tantalítica, percebe-se que este Nb-tantalato ou cristaliza a baixa temperatura (< 500°C) ou então as concentrações de Ta em misturas

magmáticas muito evoluídas

terão que se situar acima das dezenas de ppm.

A prevalência de baixas temperaturas no decurso da cristalização é plausível devido às elevadas concentrações de componentes fluidificantes

com capacidade depressora do liquidus magmático

sendo possível que a diminuição destes constituintes (F, B, Li, e Na, essencialmente) possa

desencadear a cristalização dos óxidos de Ta, Nb e

Sn. Em Leal Gomes (1994) é dada esta explicação

para o carácter satélite dos intercrescimentos de

tantalite e cassiterite em relação a nódulos de turmalina e olenite no pegmatito da

Balouca Norte na

Serra de Argô (Figs. 4 e 5A). No mesmo trabalho,

a análise paragenética das associações mineralógicas com Nb-tantalatos sugere que a solubilidade da molécula columbitica terá que ser menor

que a da Mn-tantalite, o que é coerente com o

comportamento mais compatível do Nb quando

comparado com o Sn e o Ta.

Consequentemente, pode explicar-se assim o

decréscimo generalizado do quociente Nb-Ta, que

se observa a várias escalas e níveis de organização, desde a zonalidade composicional em cristais individuais até à zonalidade paragenética e geoquímica

em campos pegmatíticos. Esta variação pode, portanto, ser atribuída à cristalização fraccionada de

minerais com Nb e Ta e, eventualmente, pode ser generalizada a muitos dos aplito-pegmatitos da Serra de Arga, como indicadora das tendências evolutivas primárias.

Uma outra feição da mineralização tantalífera está relacionada com as unidades tardias de substituição, em especial, as fácies enriquecidas em albite

e micas. A substituição ou alteração deutérica com posita é possivelmente responsável pela materialização

dos "ore-shoots" descritos por Coteló Neiva (1954) na mina da Cabração.

Van Lichtenvelde et al. (2007) propuseram que o metassomatismo, que é significativo neste caso, implica compósitos magmáticos enriquecidos em elementos fluxantes e fluidificantes em lugar de fluidos dos hidrotermais típicos. Sustentam esta suposição nos seguintes pressupostos:

- o Ta possui alta solubilidade nas misturas magmáticas mais fluidas que, por sua vez, são capazes

de transportar conteúdos elevados deste elemento (Bartels et al., 2010);

- o Ta é pouco solúvel em fluidos aquosos típicos.

Em análise paragenética, várias texturas são compatíveis com estes pressupostos:

a) frequentemente, os Nb-tantalatos distribuem-se por frentes de mineralização que

acompanham o termo do avanço metassomático, especialmente quando este envolve neoformação de albite ou micas mais potássicas e/ou litínicas (Fig. 5 B e C). Texturas como estas denotam que a deposição dos Nb-tantalatos acontece quando cessa a aptidão reaccional metassomática. As misturas magmáticas enriquecidas em elementos fluidificantes são capazes de transportar altos conteúdos de Ta e, sendo caracterizadas por baixas viscosidades, têm também uma grande mobilidade, podendo levar os Nb-tantalatos a uma disseminação pervasiva no seio de um protólito inicialmente feldspático e quase estéril, partindo de zonas de enriquecimento, inicialmente também, circunscritas a frentes

metassomáticas mais definidas;

b) sistematicamente, como documenta Leal Gomes (1994), quando os pares paragenéticos cassiterite + columbite-tantalite, são afectados por greisenização, verifica-se a evidência petrográfica da corrosão da cassiterite, mantendo-se

em equilíbrio a columbite-tantalite coexistente e isto acontece sistematicamente para qualquer expressão textural dos diferentes estádios de

progresso da greisenização (greisenização selectiva para a cassiterite) (Fig. 6). Esta constatação

de Leal Gomes (1994) é compatível com um comportamento diferenciado do Ta e do Nb relativamente ao Sn no que concerne à solubilidade em fluidos aquosos típicos – muito mais elevada no caso do Sn.

Não obstante o que ficou exposto os fluidos hidrotermais típicos podem mesmo assim influenciar a mineralização tardia de Nb-Ta adicionando

aos diferenciados compósitos pegmatíticos alguns cátions divalentes, especialmente, o Mn e o Ca que incorporam fases parageneticamente tardias tais como a Mn-tantalite e as microlites.

Depósitos Minerais Tantalíferos e suas Paragéneses

De um conjunto vasto de ocorrências de minerais portadores de Ta foi feita a selecção daqueles que de forma mais consistente pudessem proporcionar um

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

13

14 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 4– Anatomia do pegmatito da Balouca Norte, descrito em Leal Gomes (1994) e em Pereira & Leal Gomes (2014).

Figure 4 – Anatomy of North Balouca Pegmatite (Leal Gomes, 1994; Pereira & Leal Gomes, 2014).

produto mineiro tantalífero sob a forma de concentrado de Nb-tantalatos. A algumas dessas jazidas

foi feita alusão anteriormente a propósito das condições de mineralização de Ta em pegmatitos.

A apetência tantalífera é definida quando as jazidas podem proporcionar concentrados de Ta como produtos principais ou quando esses concentrados podem ser obtidos como subprodutos da lavra dirigida a outras substâncias. No caso dos pegmatitos graníticos esta aproximação significou reduzir o universo de pegmatitos discriminados na tabela 1 àqueles que constam da tabela 2.

Além dos pegmatitos, são também considerados como depósitos relevantes, e conhecidos no que se refere à produção ou potencial produção de Ta, os placeres e apogranitos / “stocksheiders” que já estavam localizados na figura 1 (tabs. 3 e 4, respectivamente). Os conteúdos de

Ta, em amostras de

rocha total e em concentrados de bateia de sedimentos e concentrados densos de produtos de

cominuição de leucogranitos e pegmatitos friáveis, foram obtidos por ICP-MS e FRX.

As composições dos minerais de Ta e alguns dados de litogeoquímica estão publicadas em Cotelão Neiva (1944), Leal Gomes (1991), Leal Gomes (1994), Bravo Silva et al. (2006), Leal Gomes et al. (2009), Dias (2012) e Ferreira et al. (2014).

Montesinho, apogranito – mineralização Sn, Be, Ta, Nb  
Pereira et al. (1984) descreveram a jazida de

Montesinho como um conjunto venular dilatacional

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

15

Figura 5– Distribuição de óxidos de Sn, Nb e Ta condicionada pela acção de componentes complexantes dos metais

em meio aquoso e /ou magmático (macro-imagens). A – aspectos da dependência de deposição primária entre

turmalina olenítica e conjuntos, cassiterite / tantalite expressos na ocorrência Balouca – Serra de Arga.

B – frente de Mn-tantalite estabelecida no decurso do avanço de uma frente metassomática albitica

(região da Vela – Guarda); C – frente de tantalite estabelecida no decurso do avanço de uma frente de polilitonite

(mica II) que substitui feldspatos primários (região da Vela - Guarda).

Figure 5 – Distribution of Sn, Nb and Ta oxides conditioned by the activity and mineral expression of metal complexing agents in magma plus fluid flux

composites. A – textural features representing interdependent primary deposition of olenite plus tantalite / twined cassiterite assemblages – Balouca

aplite-pegmatite, Serra de Arga. B – Mn-tantalite front established during progressive albitization (Vela pegmatite swarm - Guarda); C – tantalite

front associated with the progressive secondary polithionite replacement of earlier feldspars (Vela pegmatite swarm - Guarda).

16 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 6– Greisenização selectiva da cassiterite com permanência em equilíbrio de texturas fantasma da tantalite que

estava incluída na cassiterite – imagens de microscópio óptico de luz transmitida em nicóis paralelos.

Figure 6 – Selective cassiterite corrosion, during greisenization where tantalite included in previous cassiterite remains in equilibrium.

Tabela 2– Mineralogia e conteúdos de Ta em grupos pegmatíticos potencialmente produtivos e unidades

internas tantalíferas.

Table 2 – Mineralogy and Ta contents into pegmatite groups potentially productive and Ta-rich inner units.

Pegmatito mineralogia e conteúdo médio de Ta

2O5

em concentrados de minerais densos de unidades produtivas

teores calculados

média - unidade produtiva (UP)

ou corpo total (CT (em ppm)

Covide ZONA INTERMÉDIA FELDSPÁTICA

Fe-columbite, monazite, xenotima, ilmenite, rútilo, alanite, gadolinite -Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 18%

Ta(UP)=108

Dornas UNIDADE MICÁCEA DE SUBSTITUIÇÃO

Fe-columbite, zircão, bazzite, Ti,Sc-ixiolite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 33%

Ta(UP)=891

Muro Alto 1 UNIDADE MICÁCEA DE SUBSTITUIÇÃO

Fe-columbite, zircão, Ti,Sc-ixiolite, microlite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 35%

Ta(UP)=776

Muro Alto 2 MATRIZ COM LEPIDOLITE E ELBAITE EM BRECHA HIDROTHERMAL COM CLASTOS DE MICROCLINA

Fe-columbite, Mn-tantalite, U,Pb-microlite, Na, F-microlite, elbaite, amblygonite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 55%

Ta(UP)=843; (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=55)

Vergaço UNIDADE MICÁCEA DE SUBSTITUIÇÃO

W,Ti-wodginite, Nb, Ta - rútilo, rútilo, Fe-columbite, scheelite, wolframite, ferberite, ilmenite, arsenopirite, Bi nativo, pirite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 10%

Ta(UP)=140

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

17

Tabela 3– Características mineralógicas e conteúdos de Ta dos placeres tantalíferos.

Table 3 – Mineralogy and Ta contents of Ta-rich placers.

placere tipo

predominante

mineralogia e conteúdo médio de Ta

em concentrados de minerais densos de unidades produtivas

teores calculados

média - unidade produtiva

Estuário do

rio Coura

aluvião cascalheira com 1-5 m de possança: Mn-tantalite, cassiterite,

ouro, granada, turmalina, andaluzite, corindo, diásporo, ilmenite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 23%

Ta = 39

Planalto e

retenção

endorreica

da Cumieira,

Junqueira e

Ribeiro do

Salgueiro

coluvião

a aluvião

níveis indiferenciados de cascalho - heterogêneos a arenosos e

com remobilizações de regolito pegmatítico: Fe-columbite,

Mn-Tantalite, monazite, xenotima, zircão, ilmenite, rútilo,

anatase, alantite, ganite, scheelite, wolframite, ouro, crisoberilo,

nigerite, topázio, granada e turmalina - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 26%

Ta = 101

Tabela 2– Mineralogia e conteúdos de Ta em grupos pegmatíticos potencialmente produtivos e unidades

internas tantalíferas (cont.).

Table 2 – Mineralogy and Ta contents into pematite groups potentially productive and Ta-rich inner units (cont.).

Pegmatito mineralogia e conteúdo médio de Ta

2O<sub>5</sub>

em concentrados de minerais densos de unidades produtivas

teores calculados

média - unidade produtiva (UP)

ou corpo total (CT (em ppm)

Senhora de

Assunção

FRENTE MINERALÓGICA (camada limite):

1 - FOSFÁTICA (ZI/NQZ) – Fe-columbite, Mn-Tantalite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=31%

2 - BER (ZI/NQZ) – ixiolites, pirocloro, zircão, uranofana - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=35%

3 - Micácea (MO/AB) – Fe-columbite, tantalite-columbite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=26%

BRECHA DE COLAPSO – Fe-tapiolite, Mn-columbite; badeleite;

florencite, zircão; autunite; thorbernite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=61

Ta (UP1)=320



Ta (UP2)=456  
 Ta (UP3)=1020  
 Ta (UP4) =925  
 Queiriga ZONA INTERMÉDIA PRIMÁRIA COM PETALITE – Fe-columbite, Mn-tantalite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=23%  
 UNIDADE EMDOMETASSOMÁTICA (similar a endoskarn) - fosfatos, sulfuretos, carbonatos, Nb-tantalatos, tungstatos - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=12%  
 UNIDADE MICÁCEA DE SUBSTITUIÇÃO – Fe-columbite, cassiterite e aluminossilicatos de Be - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=22%  
 UNIDADE ALBÍTICA DE SUBSTITUIÇÃO – Mn-tantalite, Na - microlite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=32%  
 UNIDADE LEPIDOLÍTICA DE SUBSTITUIÇÃO – Mn-tantalite, Na,F - microlite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=33%  
 Ta (UP1)=125  
 Ta (UP2)=110  
 Ta (UP3)=206  
 Ta (UP4)=647  
 Ta (UP5)=323  
 Santa Cristina tapiolite, Ta-rútilo, ixiolites, crisoberilo, anatase, lazulite – scorzalite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=41%  
 Ta (CT)=320  
 Balouca N Fe-columbite, Mn-tantalite, Ba-microlite, Ca-microlite, cassiterite, thortveitite, elbaite (Fe), olenite nodular, gorceixite, svambergite -Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=26%  
 Ta (CT)=211  
 Balouca S Mn-tantalite, Na,F-microlite, lidicoatite, elbaite, polucite, ambligonite - montebrasite, lepidolite, polilitionite, cassiterite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=43%  
 Ta (CT)=1102  
 Picoto do Carvalho  
 Fe-columbite, Mn-tantalite, ixiolite, petalite-espodumena, ambligonitemontebrasite, cassiterite e micas (inc. V-moscovite) - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=38%  
 Ta (CT)=450  
 Covelinhas Mn-tantalite, microlites, lepidolite, ambligonite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=30% Ta (CT)=553  
 Portomé microlite, tantalite, simpsonite, lepidolite, topázio, elbaite - lidicoatite, ambligonite - montebrasite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=61%  
 Ta (CT)=1024  
 associado a cisalhamento, com mineralizações de cassiterite e berilo em ganga quartzosa, geneticamente ou espacialmente relacionadas com um leucogranito e um aparelho de tipo “stock-sheider”.  
 Embora não existam referências significativas a mineralizações de Ta nesta jazida, foi possível identificar columbites-tantalites e sobretudo Mn-tantalites, tanto associadas ao berilo e cassiterite dos veios e “stock-sheider”, como também em disseminação nas fácies leucograníticas.  
 Apogranitos tantalíferos também foram referidos por Arribas (1979) na mina de Penouta em Espanha não muito longe de Montesinho (ver Fig. 1).  
 Os minérios de Ta com composições mais reprodutíveis encontram-se em disseminação nas fácies mais finas e homogéneas, leucograníticas (Fig. 7).  
 Em análise química de rocha total não foram encontrados teores superiores a 150 ppm, mas os

concentrados finamente granulares obtidos de fácies apograníticas estão enriquecidos em Mn-tantalite e são bastante homogéneos, proporcionando conteúdos de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> claramente superiores a 30%.

O interesse das ocorrências deste tipo reside no facto de poderem existir massas apograníticas de grande dimensão com mineralização de Ta disseminada.

Seixigal, “stock-sheider” – mineralização

Be, Sn, Nb, Ta, Mo

A jazida de Seixigal, Pereira de Selão, Vidago, foi explorada para minerais cerâmicos pegmatíticos até aos primeiros anos deste século. Corresponde-lhe

um grande corpo com bandas de composição granítica residual e estrutura interna pegmatítica,

bandada, organizada num complexo exo-granito/endo-granito com “stock-sheider”

(Pereira et al.,

1998). Aparentemente, as mineralizações mais persistentes nas bandas primárias compreendem

18 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Tabela 3– Características mineralógicas e conteúdos de Ta dos placeres tantalíferos (cont.).

Table 3 – Mineralogy and Ta contents of Ta-rich placers (cont.).

placere tipo

predominante

mineralogia e conteúdo médio de Ta

em concentrados de minerais densos de unidades produtivas

teores calculados

média - unidade produtiva

Plataformas

elevadas do

Lousado e do

Chelo

eluviação níveis de saibro, de cascalho e areno-argilosos: Fe-columbite,

zircão, Ti,Sc-ixiolite, tapiolite, Nb,Ta-rútilo - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 31%

Ta =91

Veigas de

Bertiandos e

Correlhã

aluviação níveis de Fe-columbite, ixiolites, tapiolite, rútilo, andaluzite,

diásporo - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 24%

Ta =89

Várzeas do Alto

Vouga

eluviação níveis descontínuos de seixos heterogranulares: Fe-columbite,

zircão, tapiolite, volframite - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 15%

Ta =77

Várzeas da

Ribeira da Gaia

aluviação cascalheira em paleocanal - zona não perturbada do jazigo:

Mn-tantalite, microlites, cassiterite, topázio - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 34%

Ta =129

Tabela 4– Características mineralógicas e conteúdos de Ta de fácies apograníticas.

Table 4 – Mineralogy and Ta contents of some apogranites.

apogranito estruturas mineralogia e conteúdo médio de Ta

2O5

em concentrados de minerais densos de unidades produtivas

teores calculados média

- unidade produtiva

Montesinho “stocksneider”

+ enxame

venular

DISSEMINAÇÃO EM FÁCIES GRANULAR FINA:

Fe-columbite, monazite, xenotima, ilmenite, rútilo - Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=

26%

Ta =108

Seixigal horizonte filítico

albitico com

turmalina em

“stocksneider”

UNIDADE INTERBANDADA ESTREITA COM CLORITE,

TURMALINA E MICA:

Fe-columbite, Ti,Sc-ixiolite, alumotantite, natrotantite,

molibdenite, fenacite, F-apatite, zircão, bazzite, cassiterite -Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 21%

Ta=181

cassiterite e molibdenite mas são também relevantes

as mineralizações de Be sob a forma de fenacite e

bertrandite nas unidades tardias miarolíticas e em

brechas hidrotermais (Fig. 8). Em qualquer caso estes

minerais devem ser encarados como acessórios raros.

No que respeita a Nb-tantalatos dois tipos de

Unidades que se repetem no empilhamento de bandas pegmatíticas mostram um conteúdo significativo

embora distribuído de forma heterogénea:

- unidade de substituição ferromagnésiana com tapiolite e magnocolumbite disseminadas e, com carácter raro, tantite e alumotantite;
- unidade brechóide hidrotermal com tapiolite, columbite-tantalite e muito rara microlite.

Pegmatóides hiperaluminosos do tipo Santa

Cristina – mineralizações de Ti, Ta, Nb, Be, Sn

Nas figuras 2 e 3, atrás, é ilustrada a estrutura

interna deste tipo de veios que podem ser considerados como microdepósitos, apenas economicamente

relevantes se organizados em feixes de veios lentículares paralelos, em corredores de encaixante

metasedimentar a metavulcânico que do ponto de

vista metamórfico e deformacional sejam propícios

à sua proliferação. Dois tipos de feições venulares

proporcionam conteúdos significativos de Nb e Ta.

São interessantes do ponto de vista metalogénico

pois representam a primeira individualização em

“subsolvus” a “subsolidus” de moléculas tantalíferas de

alto conteúdo nos primeiros episódios de espessamento crustal em contexto colisional Varisco (Dias,

2012):

- veios ultra-aluminosos sobremicáceos com corindo, diásporo, crisoberilo e andaluzite (quase sem feldspatos) – entre os Nb-tantalatos e óxidos associados, identificam-se ilmenite rica

em Ta, Ta-rútilo e tapiolite; tal como se mostra na figura 9 e no diagrama 9D, composições situadas no domínio da ilmenite e do Ta-rútilo, tal

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes  
19

Figura 7– Ilustração mesoescalar do modo de ocorrência de minerais de Ta e Nb em paragénese do campo mineiro de Montesinho.

Figure 7 – Images of the occurrence of Ta-Nb oxides in mineral assemblages from Montesinho ore-field.

20 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 8– Complexo exogranito/endogranito com stock-scheider do Seixigal com distribuição heterogénea de Nb-tantalatos

concentrados em unidades tardias de pequena expressão – brechas hidrotermais e massas de substituição ferromagnesianas.

Figure 8 – Outer granite/inner granite complex with stock – scheider at Seixigal with heterogeneous distribution of Nb-Ta mineral concentrates located

at minor later units – hydrothermal breccias and Fe-Mg-rich replacement units.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes  
21

Figura 9– Paragénese de tantalatos dos veios ultra-aluminosos sobremicáceos – imagens MEV-ER:

A – intercrescimentos precoces entre ilmenite e Ta-rútilo (Ta-rut); B – intercrescimentos epitáxicos

de tapiolite (tap) sobre Ta – rut; C – crescimento multifásico ou zonamento sectorial entre columbite-tantalite

até Mn-tantalite (Mn-tan) com tapiolite associada – mineralizações tardias;

D – diagrama ternário  $Ti^{4+}$ ,  $Ta^{5+}$ ,  $Fe^{2+}$  (catiões por fórmula) para análises pontuais em diferentes

conjuntos cristalinos compósitos, cujas projecções se distinguem pelos símbolos diferentes.

Figure 9 – Tantalum bearing mineral assemblages from ultra-aluminous mica-rich veinlets – SEM - BSE images: A – earlier intergrowths between

ilmenite and Ta – rutile (Ta-rut); B – epitatic overgrowths of tapiolite (tap) over Ta-rut; C – multistage growth or sector zoning

of columbite-tantalite to Mn-tantalite (Mn-tan) with associated tapiolite - latest mineralizations; D – ternary diagram

$Ti^{4+}$ ,  $Ta^{5+}$ ,  $Fe^{2+}$  (in atoms per formula unit) for EMPB analysis in different composite crystals, distinguished by the different plotted symbols.

como sugerem Leal Gomes et al. (2009) e Dias

(2012), convergem para um domínio columbite

- tantalite / tapiolite a cerca de 30% de Ti

$4+$

; os

hiatos composicionais no mesmo diagrama cores ponderam a fase titanada desordenada, resultantes de inércia de acomodação dos constituintes

químicos às transições de estrutura e à variação

das taxas de crescimento cristalino – a ilmenite

e o Ta-rútilo representam estruturas cristalinas

originais das quais o Ta foi libertado; a evolução

composicional referida mostra frequentes texturas

típicas de deformação não coaxial com crescimento helicoidais delatóides ou helicíticos em

“snow-ball” registados em “fabrics” de secções basais

dos cristais prismáticos, compostos de Ta-rú -tilo e tapiolite (Fig. 10); este facto chama a

atenção para a importância da libertação precoce de moléculas tantalíferas a partir de fases precoces titanadas sujeitas a "annealing recovery",

concomitantes da deformação cisalhante e do metamorfismo em corpos venulares que podem ser considerados como de segregação metamórfica (Dias, 2012);

- veios hiperaluminosos sódicos com lazulite-scorzalite – ao contrário dos veios anteriores

estes manifestam uma estrutura interna zonada, com salbandas micáceas, zona intermédia plagioclásica e núcleo de quartzo e apresentam

conteúdos elevados de plagioclase albitica rica em fósforo na zona intermédia (Dias, 2012); os minerais acessórios são diversificados sugerindo a feição metalogénica NYF pela presença de columbite, alguma xenotima e rara gadolinite; o flúor está expresso em micas e algum topázio muito raro; entre os acessórios mais ubíquos contam-se zircão, anatase, berilo, crisoberilo e alguns Nb-tantalatos com alto Ta, especialmente, tapiolite; o mineral tipomórfico destes veios, quase sempre cristalizado em posição tardia da paragénesese, é a lazulite-scorzalite (ver Fig. 3);

na figura 11 ilustram-se diversos inter-relacionamentos entre Nb-tantalatos com razões de

conteúdo do catiónico Mn/(Mn+Fe) muito baixas – no diagrama columbite-tantalite/tapiolite as derivas composicionais evoluem junto do eixo  $\text{FeNb}_2\text{O}_6$ –  $\text{FeTa}_2\text{O}_6$

, o que é bastante característico destes veios hiperaluminosos; também é característica a homogeneidade composicional destes minerais a qual prevalece nas imagens de electrões retrodifundidos de muitas das suas secções (Fig. 11A, E e F).

Pegmatitos LCT com turmalina nodular da Balouca – mineralizações de Li, Sn, Nb, Ta, Be, T.R., Ba, Sr

A estrutura interna dos aplito-pegmatitos da Balouca foi abordada antes, tendo sido ilustrada na figura 4. Tipicamente, trata-se de pegmatitos LCT turmalínicos com diferentes gerações de turmalina, berilo e óxidos de Sn, Nb e Ta e corresponde-lhes um dos tipos de pegmatitos da Serra de Arga mais enriquecidos em Nb-tantalatos, expressos em diferentes associações mineralógicas, por sua vez típicas de estádios paragenéticos muito diferenciados (Fig. 12), discriminados em seguida:

- 1 – Mn-columbites e Mn-tantalites ocorrem disseminadas em fácies aplíticas de muro em paragénesese com a cassiterite, ou então formam do, também com a cassiterite, conjuntos paragenéticos satélites dos nódulos de turmalina olenite, que predomina em dispersão na matriz aplito-albitica mural (ver Fig. 5A anterior);

2 – tantalites lamelares e Mn-tantalites encontram-se intercrescidas com mica e quartzo nas corôas pegmatíticas que rodeiam os gigafeldspatos baveno mais ou menos pertíticos

(ver Fig. 4, texturas 1 e 2); estas tantalites, que não têm cassiterite nas proximidades, tendem a ser mais homogêneas que as restantes;

3 – tantalatos reaccionais e produtos de sobre -crescimento, denotando equilíbrios paragenéticos

tardios, após Nb-tantalatos primários, situados em unidades de estruturação precoce.

Pegmatitos LCT do Muro Alto – mineralizações de Li, Be, Ta, Nb, Cs, Zr

Na figura 13 encontra-se uma ilustração da estrutura interna deste grupo pegmatítico constituído

por dois corpos de génese diferenciada mas provavelmente cogenéticos. O maior é refrido na

figura 13 como corpo nº 1, sendo extraordinariamente enriquecido em amblygonite-montebrasite e

em berilo em estruturas de tipo ceptro a coroníticas;

o menor, referido na mesma figura como nº 2, é uma brecha hidrotermal constituída por lepidolite matricial, microclina clástica e elbaite na frente de

equilíbrio entre clastos e matriz. A columbite-tantalite predomina no corpo 1 enquanto que a Mn-tantalite e microlite predominam no corpo 2.

Na figura 14 ilustram-se texturas e modos de ocorrência dos Nb-tantalatos e bem assim alguns

22 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

aspectos da zonalidade típica dos cristais e da sua

mineraloquímica. É de realçar que os intercrescimentos em ceptro, ou corôas de mica em volta dos

gigaberilos patentes na figura 14, secções A, B e C representam secções orientadas nos gigaberilos e suas corôas micáceas, assinaladas com as mesmas letras.

O conjunto esquematizado ilustra o desenvolvimento

centrípeto dos Nb-tantalatos, a cuja zonalidade interna, correspondem as tendências evolutivas presentes no diagrama columbite-tantalite/tapiolite.

Na figura 14D a imagem de MEV-ER revela um

padrão textural em farrapos onde está presente microlite que é tardia e mais típica de paragéneses

como a do corpo 2.

Pegmatito híbrido das Dornas, Amares

– mineralizações de Be, Nb, Ta, Zr

A paragénese e estrutura interna do pegmatito

das Dornas, ilustradas na figura 15, no seu aspecto

anatômico assemelham-se bastante às do Corpo 1

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

23

Figura 10– Imagens MEV-ER de secções basais de cristais de Nb-tantalatos provenientes de veios ultra-aluminosos

sobremicáceos com matriz cataclástica a milonítica; A – secção assimétrica sigmoidal com raio periférico rico

em Nb – evolução, columbite-tantalite => Fe-columbite; B – secção assimétrica sigmoidal com rasto periférico

rico em Ta – evolução, Fe-columbite => tapiolite; C – texturas helicíticas de tapiolite no seio de Ta-rútilo;

D – halos deltóides helicoidais de Fe-columbite em volta da tapiolite (Leal Gomes et al., 2009).

Figure 10 – SEM - BSE images of basal sections from crystals of Nb-Ta minerals obtained from micaceous veins with cataclastic to mylonitic matrix:

A – sygmoidal asymmetric section with Nb rich peripheric trails – columbite-tantalite to Fe-columbite evolution;

B – sygmoidal asymmetric section with Ta rich peripheric trails - Fe-columbite to tapiolite evolution ;

C – helycitic to textures of tapiolite inside Ta-rutile ;

D – helycoidal deltoid halos of Fe-columbite around tapiolite (Leal Gomes et al., 2009).

24 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 11– Imagens MEV-ER de Nb-tantalatos típicos dos veios de Santa Cristina – hiperaluminosos sódicos

com lazulite-scorzalite; A – tapiolite encurvada por deformação coaxial; B – tantalite-columbite intercrescida

com albite rica em P, apresentando crescimento em pente; C – tantalite-columbite intercrescida com mica em

salbanda na transição para zona intermédia feldspática (lamelas com ruptura mediana própria de deformação

coaxial posterior ao zonamento); zonamento em retalhos motivado por reacção tardia no decurso da deformação

das lamelas de columbite com incremento da molécula tantalífera; E e F – secções ortogonais entre si de

Ta-rútilo a tapiolite com numerosas inclusões de silimanite.

Figure 11 – SEM-BSE images of Nb-Ta minerals from the Santa Cristina Na,Al – rich veins with lazulite-scorzalite; A – bent tapiolite resulting from

coaxial deformation; B – tantalite-columbite intergrown with P-rich albite in comb-structure; C – tantalite-columbite intergrown with mica in savage

at the transition to feldspar intermediate zone (sheets with median rupture are typical of coaxial deformation post-dating inner pegmatite zoning);

D – patch zoning resulting from late reaction accompanied by progressive deformation of columbite tablets with growing Ta content; E e F – Ta-rutile

and tapiolite orthogonal sections with abundant sillimanite inclusions.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes  
25

Figura 12– Nb-tantalatos típicos da Balouca – (Corpo N) – imagens de MEV-ER para secções de cristais.

A – textura reaccional (zonamento em retalhos) de columbite-tantalite/microlite; B – pormenor da secção A

com melhor evidência de Ba-microlite de deposição tardia epitáxica; C – textura em “snow-ball” de cassiterite

(geminação cíclica) contendo inclusões de albite e de Mn-tantalite; D – pormenor da secção C com discriminação

de Mn-tantalite incluída a qual é bastante homogénea; E– columbite-tantalite com domínios desordenados

ixiolíticos com sobrecrecimento de Ba-microlite; F – num pormenor da secção E percebe-se que a Ba-microlite

não é homogénea apresentando veios finos de plumbo-microlite.

Figure 12 – Nb-tantalates from Balouca (northern body) SEM-BSE images for some crystal sections. A – reaccional texture (patchy zoning)

of columbite-tantalite/microlite; B – detail of section A with high resolution for late and epitaxial Ba-microlite; C – snow-ball texture of cassiterite

(cyclic twinning) with inclusions of albite and Mn-tantalite; D – detail of section C discriminating included Mn-tantalite, which is homogeneous;

E– columbite-tantalite with desordered ixiolitic domains and with Ba-microlite overgrowth; F – a detail of section E shows that Ba-microlite is not homogeneous presenting thin veils of Pb-microlite.

do Muro Alto, no entanto, não apresentam a concentração de amblygonite-montebrasite e outros minerais de Li que são característicos do Muro Alto.

Em ambos os pegmatitos, as coróas micáceas irradiantes dos gigaberilos são portadoras preferenciais

de columbite-tantalite, pelo que estas unidades

filíticas, com (001) disposto em pente e perpendicular à base de nucleação, muitas vezes, uma face

prismática de um gigaberilo, podem ser consideradas

favoráveis à ocorrência de Nb-tantalatos, adquirindo o estatuto de ore-shoots para este tipo de jazidas.

Pegmatito híbrido intra-granítico de Vergaço,

Terras de Bouro – mineralizações de Ti, Nb, Ta,

Sc, W, As, Bi, Ag

O pegmatito de Vergaço apresenta uma das

paragéneses mais invulgares que foram identificadas

em pegmatitos intra-graníticos. Além das associações

primárias que na bordadura transitam gradualmente para uma fácies leucogranítica hospedeira,

mostra unidades tardias de substituição e de fraturação hidráulica (brechas) que estão enriquecidas

em minérios de Ta, Nb, Ti e sobretudo, W.

O estágio hidrotermal de mineralização tem

grande expressão volumétrica relativa, em unidades

de substituição micáceas, vários preenchimentos

quartzosos nucleares em episódios de fraturação e

selagem sucessivos e uma brecha hidrotermal

quartzo turmalínica (Fig. 16).

Os minerais acessórios predominantes nas

unidades hidrotermais são a scheelite e a volframite.

Nas zonas mais periféricas onde ocorre feldspato

potássico argilizado, observa-se abundante arsenopirite + lollingite + pirite + Bi nativo e sulfossais de

Bi, Ag e Pb.

Na figura 17 ilustram-se alguns aspectos peculiares das texturas e zonalidades dos Nb-tantalatos

de Vergaço que ocorrem preferencialmente disseminados nas unidades tardias de substituição filítica.

Composicionalmente, predominam as W, Ti –

wodginites e as Sc, W – ixiolites além de rútilos

puros ou mais ou menos enriquecidos em Ta, Nb e

W. A volframite e a scheelite tendem a ocorrer nestas mesmas unidades, mas na sua periferia, juntas

com pirite e arsenopirite, não se misturando com

óxidos de Ti, Nb e Ta. Estes ocorrem em disseminação finamente associados às micas.



Aparentemente, segundo uma sucessão conven-26 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 13– Grupo pegmatítico do Muro Alto, Vieira do Minho, em perfil transversal.

Figure 13 – Crosscutting profile of the Muro Alto Pegmatite group, Vieira do Minho.

cional de pneumatolítica a hidrotermal, os óxidos de Ti-Nb-Ta antecedem a deposição dos tungstatos.

As unidades micáceas podem ser consideradas ore-shoots para a generalidade dos minérios e em especial para os Nb-tantalitos.

Pegmatito NYF intra-granítico de Covide, Terras de Bouro – mineralizações de Nb, Ta, Sc, Y, T.R., Ti, Be, Pb, U, Th

O pegmatito de Covide pode ser considerado como uma diferenciação interna, formada “in situ” a

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

27

Figura 14– Intercrescimentos, berilo, mica, columbite-tantalite, zircão; associação típica de unidades tardias

berilíferas de pegmatitos intra-graníticos do N de Portugal, LCT a híbridos (ocorrência do Muro Alto - LCT).

BE – berilo, MO – mica branca, provavelmente moscovite, QZ – quartzo, FN – ferro-columbite,

MT – mangano-tantalite, Hf-ZR – zircão rico em háfnio, MC – microlite, TN – taeneolite, ZN – zinwaldite.

Figure 14 – Beryl, mica, columbite-tantalite, zircon intergrowths; assemblages typical of late Be-rich units in inner-granite pegmatites from

Norther Portugal, hybrid to LCT family (Muro Alto – LCT occurrence). BE – beryl, MO – white mica, probably muscovite, QZ – quartz,

FN – ferro-columbite, MT – mangano-tantalite, Hf-ZR – Hf-rich zircon, MC – microlite, TN – taneolite, ZN – zinwaldite.

28 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 15– Morfologia e estrutura interna em perfil transversal do pegmatito das Dornas.

Figure 15 – Traverse showing shape and inner structure of Dornas pegmatite.

partir da fraccionação do granito do Gerês,

essencialmente biotítico, pós-tectónico relativamente à fase Varisca D3.

Faz parte de um grupo de bolsadas pegmatíticas

com forma de gota invertida, considerados resultados de implantação por ballooning (contraste de

densidade e viscosidade entre diferenciados pegmatíticos e magma granítico contíguo) num domínio

extensional situado nas proximidades da junção

tripla de plutonitos, um dos quais é o granito

hosteio e neste caso, parental, do Gerês.

A estrutura interna deste pegmatito é heterogénea e o seu carácter alcalino é muito marcado

(OR>>AB>QZ) em concordância com a assinatura

subalcalina própria do granito parental do Gerês

que se pode considerar de tipo I (Fig. 18).

Do ponto de vista tipológico é um verdadeiro

pegmatito NYF, revelando as mais baixas relações

Ta/Nb que é possível encontrar em nos Nb-tantalitos

que potencialmente se podem obter em Portugal.

Em contrapartida é em pegmatitos como estes que

ocorrem as mineralizações mais relevantes de Terras Raras, em monazite, xenotima e thortveitite. Algumas cavidades miarolíticas nucleares apresentam fluorite, topázio e gadolinite que embora sejam minerais

raros, completam os indícios de uma verdadeira assinatura geoquímica de tipo NYF.

Pegmatitos híbridos intra-graníticos de Senhora de Assunção, Sátão – mineralizações de Be, Nb, Ta, Li, W, Mo, Zn, Cu, U, As, Bi

O grupo pegmatítico de Senhora de Assunção representa um conjunto vasto de corpos internos de diferenciação “in situ” situados em zona de cúpula de um plutão granítico de fácies porfiróide, tardi-D3, essencialmente biotítica de grão médio (Ferreira et al., 2014).

O conteúdo de Nb-tantalatos em algumas unidades de fraccionação interna e substituição pode ser bastante elevado (Fig. 19). É de equacionar o aproveitamento de Ta e Nb a partir dessas unidades. Na figura 19 é apresentada a expressão geométrica das zonas tantalíferas correspondentes à estrutura interna deste grupo tal como está descrita em Ferreira et al. (2014).

Pegmatitos LCT e híbridos da Queiriga – mineralizações de Li, Sn, W, Be, Ta, Nb, Zn, Cu, As

Os pegmatitos da Queiriga, V. N. de Paiva, constituem um grupo de “sills” enraizados numa zona de mistura de granitos, situada no bordo do maciço de Aguiar da Beira. Aqui ao longo de um corredor de “mingling” caracterizado, por um enxame de encraves granulares a sobremicáceos e na

proximidade de um pequeno “stock” de granodiorito intrusivo no granito porfiróide, essencialmente biotítico, de Aguiar da Beira, ocorre um conjunto de pegmatitos LCT, um dos quais, o mais possante, atravessa o contacto do granito com os terrenos metassedimentares e propaga-se para zonas mais distais relativamente ao contacto. Este grande “sill” deu lugar no passado a uma exploração mineira dedicada ao Sn (Lagares) e mais recentemente foi objecto de lavra dirigida a minerais cerâmicos (Puga et al., 2003). O facto de a zona de enraizamento do “sill” principal ser uma zona de mistura de magmas graníticos poderá ter estado na origem da diversidade de mineralizações que é típica destes pegmatitos.

Prevalece a mineralização LCT expressa em diferentes estádios paragenéticos desde a deposição precoce de gigacristais euédricos de petalite até paragéneses complexas, com berilo rico em Cs, columbite-tantalite e lepidolite em unidades de substituição e venulares tardias. Os maiores conteúdos

de Nb-tantalatos ocorrem nas frentes de fraccionação entre zonas intermédias feldspáticas e núcleos

de quartzo nas porções zonadas mais possantes (Fig. 20)

e também em unidades de substituição por conta -mi nação associada à digestão intra-pegmatítica de massas encaixantes. Estas últimas unidades têm uma mineralogia diversificada, que as torna semelhantes a “endoskarns” (com abundante apatite, olenite e rodocrosite). Aí, além dos Nb-tantalatos identificam-se, volframite e vários fosfatos raros e sulfuretos (calcopirite, arsenopirite, lolingite, estanite, kesterite, blenda, galena e bismutinite). Os Nb-tantalatos encontram-se disseminados e inclusos nos minerais essenciais, sobretudo em micas e albite, particularmente, quando são finamente granulares, mas podem aparecer mais grosseiros junto do berilo e dos silicatos de Li.

Aplito-Pegmatito LCT cataclástico a milonítico do Picoto do Carvalho, Serra de Arga – mineralizações de Ta, Nb, Sn, Li

O corpo filoniano do Picoto do Carvalho representa um “sill” fortemente deformado (cisalhado)

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes  
29

Figura 16– Morfologia e estrutura interna em perfil transversal do Pegmatito de Vergaço.

Figure 16 – Traverse showing shape and inner structure of Vergaço pegmatite. onde, protocristais de petalite, após metamorfismo e deformação D3 Varisca deram lugar a células ocellares espoduménicas (Leal Gomes, 1994) envolvidas numa matriz cataclástica fina por vezes com verdadeira feição milonítica (Fig. 21). É nesta matriz que

se observa a mineralização de Ta sob a forma de tantalita-lite, notando-se uma homogeneização composicional dos cristais a altos conteúdos de Ta. A figura

22 ilustra esta evolução zonal dos cristais individuais em imagens de MEV-ER. A zonalidade sectorial e em retalhos reflecte a complexidade multifásica da deformação e do metamorfismo.

Da observação da figura 22 depreende-se que nos sucessivos reequilíbrios texturais, de ordenamento cristalino e de composição, os fenómenos de

reorganização tenderam para a estabilização do Nbtantalato a altos conteúdos de Ta – as zonas mais

claras estão menos perturbadas e observa-se redistribuição das proporções de molécula tantalítica e

columbítica, pela similitude, nas diferentes imagens, dos padrões de brilho intermédio. Assim,

parece ter resultado da sobreposição deformacional e metamórfica em contexto cisalhante, uma homogeneização granulométrica dos cristais e uma homogeneização composicional e do ordenamento a

conteúdos elevados de molécula tantalífera, produzindo uma disseminação tantalífera nas fácies

miloníticas que pode tornar-se interessante do ponto de vista económico.

30 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 17– Aspectos texturais típicos dos Nb-tantalatos de Vergaço em imagens de MEV-ER.

A – Sc, W - ixiolites com epitaxias de tapiolite, B – W, Ti-wodginites com zonamento sectorial e por vezes

também epitaxias de tapiolite. Barras de escala equivalem a 100µm.

Figure 17 – Typical textures of Vergaço Nb-Ta minerals in SEM-BSE images: A – Sc, W- ixiolites with tapiolite epitaxies;

B – W, Ti-wodginites with sectorial zoning and also tapiolite epitaxies.

Aplito-Pegmatito LCT lepidolito-turmalínico de Portomé, Guarda – mineralizações de Li, Cs, Ta, Be, Sn, Bi, Ga, ge, Sc, Zr

Os aplito-pegmatitos que ocorrem em Portomé contam-se entre os que apresentam os mais altos teores que podem ser encontrados em análises de rocha total. Excluindo o caso das tantites do Seixigal e das microlites da Balouca, também é nestes pegmatitos que se encontram algumas das fases portadoras mais ricas em Ta – as microlites ocorrem com alguma frequência e também ocorre simpsonite (Bravo Silva et al.,2006).

Na figura 23 ilustram-se as texturas bandadas enriquecidas em Nb-tantalatos sob a forma de disseminações. As paragénese mais evoluídas, que são portadoras de mineralização tantalífera, apresentam os maiores conteúdos de minerais típicos de paroxissmo evolutivo, em ambientes miarolíticos ou então nas transições entre bandas predominante -mente lepidolíticas e bandas albiticas, em correspondência com as condições de mineralização referidas anteriormente. A granularidade dos óxidos acessórios varia também em coerência com a granularidade dos minerais hospedeiros.

Placeres

Já da observação da figura 1 se deduzia que os placeres tantalíferos tendem a ser proximais localizando-se junto aos depósitos primários, especialmente, daqueles que se situam em campos pegmatíticos com especialização LCT.

Alguns exemplos de placeres representativos dos maiores teores e das maiores concentrações detríticas de fases ricas em Ta encontram-se nos locais discriminados em seguida:

a) Aluviões da Ribeira da Gaia – as concentrações mais interessantes ocorrem nas várzeas da

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes 31

Figura 18– Morfologia e estrutura interna em perfil transversal do Pegmatito de Covide.

Figure 18 – Traverse showing shape and inner structure of Covide pegmatite.

32 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 19– Morfologia e estrutura interna em Perfil transversal do grupo pegmatítico de Senhora de Assunção,

Sátão, – alcance e distribuição das mineralizações de Nb e Ta.

Figure 19 – Traverse showing shape and inner structure of Senhora de Assunção pegmatite group – grade and distribution of Nb-Ta mineralization.

ribeira próximas dos domínios espaciais do campo pegmatítico LCT que, por sua vez, apresenta também um maior enriquecimento tantalífero

primário, na região da Vela e Seixo Amarelo.

b) Aluvio-eluviões da Cumieira, Ribeiro do

Salgueiro e Chelo – as concentrações de cariz aluvial ocorrem em depósitos detríticos quaternários e actuais derivados dos depósitos

primários atribuídos ao campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga; os depósitos detríticos

neste caso são tipicamente proximais.

c) Aluviões e terraços elevados de Bertandos, Amonde e Correlhã – depósitos de terraço com concentrações em paleocanais e aluviões, onde a carga tantalífera assume uma posição mais distal que no caso anterior, relativamente às concentrações primárias originais, atribuídas, uma vez mais ao campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga.

d) Aluviões do Alto Vouga – concentrações aluviais nas várzeas do Rio Vouga, no seu curso alto,

relacionadas com a proximidade de pegmatitos

intra-graníticos híbridos portadores de unidades enriquecidas em columbite-tantalite.

Os aluviões da Ribeira da Gaia e da Cumieira

são os mais especializados e com mais altos valores da razão Ta/Nb.

Minérios e Concentrados de Tântalo

As percentagens de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> presentes nos concentrados tantalíferos têm como factor limitante natural

a diversidade mineraloquímica das fases portadoras de Ta que ocorrem em depósitos primários.

Concentrados com Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> acima de 30% alcançam preços unitários 5 a 10 vezes superiores aos que se obtêm abaixo deste limiar composicional. Este facto suscita muitas vezes a adopção de correcções de teor (“blending”) procurando, com lotes de diferentes cargas tantalíferas, corrigir preços colocando-os acima da

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

33

Figura 20– Frente de transição entre zona intermédia e núcleo de quartzo com mineralização grosseira de berilo

alcalino e mineralização fina de Nb-tantalatos – zona de enraizamento proximal do “sill” da Queiriga.

Figure 20 – Transition between inner intermediate zone and quartz core with coarse alkaline beryl and fine grained Nb-Ta

mineralization - inner granite root and proximal zone of Queiriga sill.

34 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 21– Imagem macro (lado maior da imagem, 15 cm) de fácies cataclástica a milonítica do aplito-pegmatito

do Picoto do Carvalho com disseminação fina de Nb-tantalatos.

Figure 21 – Macro image of cataclastic to mylonitic facies in Picoto do Carvalho aplite-pegmatite with disseminated fine-grained Nb-tantalates.

Figura 22– Imagem MEV-Er de secções (hkl) em cristais de Nb-tantalatos do Picoto do Carvalho.

Figure 22 – SEM-BSE imagery of (hkl) sections in Nb-tantalate crystals from Picoto do Carvalho.

barreira de cotação alta. Este procedimento também

pode contribuir para fazer decrescer nos produtos

finais os conteúdos de contaminantes / penalizantes,

tais como, U, Si e Sb.

Utilizando para discriminação tipológica o quadro lateral columbite-tantalite / tapiolite e recorrendo

a estudos mineraloquímicos anteriores, existem condições para a definição de 5 categorias principais de concentrados (Fig. 24):

a) Concentrados do tipo Serra de Argô – podem ser obtidos a partir de aplito-pegmatitos de fora para dentro até à milonitização e mostram uma

grande diversidade composicional, consoante a sua proveniência a partir de veios hiperálumínicos NYF precoces ou aplito-pegmatitos LCT tardios.

b) Concentrados do tipo pegmatito intra-granítico – são heterogêneos e obtidos em unidades

definidas de pegmatitos intra-graníticos a perigraníticos; tendem a ser mais homogêneas as

mais baixos valores de Ta, indicados pela presença de gigacristais de berilo.

c) Concentrados do tipo Covelinhas e Portomé – apresentam os mais altos conteúdos de Ta e frequentemente incluem microlite; junto das massas finamente granulares de lepidolite predominam Mn-tantalite com altos conteúdos de Ta.

d) Concentrados de tipo Covide – em coerência com o carácter típico NYF do pegmatito, são concentrados pobres em Ta, mas enriquecidos

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes  
35

Figura 23– Morfologia e estrutura interna dos aplito-pegmatitos de Portomé e localização interna das mineralizações tantalíferas.

Figure 23 – Shape and inner structure of Portomé aplite-pegmatites and location of Ta mineralizations.

em minerais de terras raras. Também por isso apresentam contaminações não negligenciáveis de U e Th que os penalizam do ponto de vista metalúrgico.

e) Concentrados de tipo apogranítico – incluem-se aqui os concentrados apurados em leucogranitos e “stock-schneider” apicais (disseminações em rocha primária e em unidades filíticas moscovíticas tocloríticas ou albiticas de substituição); algumas

podem apresentar tores muito altos de Ta em tantalites, mas estes minerais são extremamente raros, na maioria dos casos as disseminações correspondem a pequenos cristais de columbite-tantalite com conteúdos bastante constantes e relativamente altos de Ta; é de realçar que os teores globais em rocha total nos apogranitos são muito baixos mas as tonelagens podem ser significativas.

Separaram-se por bateia concentrados de minerais densos obtidos após cominuição e crivagem

entre 1,5 cm e 0,5 mm. Considera-se que neste intervalo granulométrico estão libertos não menos

de 30% dos cristais de fases portadoras específicas de Ta da maioria das litologias estudadas.

Na figura 25 estão ilustrados alguns dos produtos reais obtidos em imagens MEV-ER de concentrados efectivamente apurados por separação hidrográvitica.

Os produtos de placeros são bastante heterogéneos e, em análise química, apresentam baixos conteúdos de  $\text{Ta}_2\text{O}_5$

. Os conteúdos mais reprodutíveis e mais altos ocorrem em aluviões da Cumieira e Ribeiro Salgueiro, na Serra de Arga, e em aluviões da Ribeira da Gaia em Belmonte, Guarda. Entre os placeros parece ser aqui que se podem obter os minérios de melhor qualidade.

Quanto aos concentrados de depósitos primários, na mesma figura 25 percebe-se que existe uma grande compatibilidade com a comercialização ao mais alto

valor unitário no caso dos concentrados apurados em fácies finas de Covelinhas, em filões que se alojam na envoltória de Portomé e ainda nas unidades tardias de tipo brecha hidrotermal ou de colapso em pegmatitos graníticos similares aos do Grupo Senhora de Assunção.

As percentagens de  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  nos concentrados podem atingir valores de cerca de 60% em columbite-tantalite pura  $\pm$  Mn-tantalite  $\pm$  ixiolites  $\pm$  wodginite  $\pm$  microlites (LCT, NYF e pegmatitos híbridos e placeros relacionados), 84% em microilites puras (pegmatitos LCT) ou 60% em concentrados enriquecidos em tapiolites (pegmatitos NYF hiperáluminosos). Estes valores apenas podem conseguir-se frequentemente no caso dos pegmatitos de feição LCT.

Os minérios de teores mais baixos e mais frequentes na generalidade das ocorrências estudadas

podem ainda assim conter mais de 20-25%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$

, o que constitui um bom ponto de partida para o incremento do conteúdo de Ta nos materiais sujeitos

a beneficiação e nos concentrados sujeitos a correcção por mesclagem.

Discussão e Conclusões

Nos procedimentos que podem potenciar a produção mineira tantalífera em Portugal incluem-se:

- análise estrutural e paragenética das frentes, em jazidas cerâmicas pegmatíticas, com vista ao apuramento seletivo de unidades internas com carga tantalífera;
- estudo mineralógico sobre as rotinas de beneficiação estabelecidas, considerando como subprodutos os resíduos de desferrilhação de mesclas cerâmicas, muitos dos quais justificam uma depuração específica com vista ao apuramento de concentrados de Ta;
- estudo mineralógico da compostagem de minérios com diferentes proveniências com vista à normalização de especificações a  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  > 30% e a baixos valores de penalizantes.

A correção da carga tantalífera dos concentrados e a sua depuração decorrem de uma intervenção mineralógica específica, com ensaios de mescla ajustados a cada caso ou lote de minério – raramente se

aplicam protocolos de procedimento padrão.

Alguns minérios de Ta disseminados ocorrem em rochas leucograníticas a aplíticas resultantes de fraccionação granítica primária, afectadas ou não pervasivamente por episódios de alteração metassomática, como acontece em Montesinho ou em

grandes corpos aplito-pegmatíticos albitizados e greisenizados de Dem no flanco ocidental da Serra de Arga.

Na história da mineração portuguesa os trabalhos mineiros significativos dedicados ao Ta concluíram-se a teores muito baixos mas os concentrados apurados atingiam valores de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

, bem acima da barreira de

cotação alta – 30% de Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

. Estes conteúdos altos

de Ta em concentrados ainda são recuperados em procedimentos experimentais dedicados a massas pegmatíticas extraídas de corpos pegmatíticos, aqui considerados como depósitos de Ta paradigmáticos.

Pela observação da figura 26 percebe-se que os lim-36 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética iares de teor viável de 150-200 ppm, para rocha total hospedeira, podem ser considerados um padrão aceitável para considerar os pegmatitos como economicamente interessantes prevendo que alguns conteúdos em “ore-shoots” possam variar de forma consistente entre os teores de 300 e 1500 ppm em rocha total (estes últimos bastante raros).

Com estes tores e conteúdos por concentrado vale a pena considerar a apetência tantalífera dos pegmatitos, se não como objecto essencial da pros -pec ção, pesquisa e exploração, pelo menos como

potencial subproduto da lavra dirigida a outras

substân cias. Neste caso, e no actual cilo extractivo

dedicado a mesclas cerâmicas aplito-pegmatíticas,

estão documentadas ou sugeridas várias situações de menosprezo ou subaproveitamento das cargas tanta -lí feras em pegmatitos.

Parece iniciar-se agora um novo ciclo de

procura, evidência de reservas e eventual exploração

que tem como objectivo o Li metálico (como Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

em diversos contextos pegmatíticos. É, por isso,

altura de também começar a considerar com

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes

37

Figura 24– Tipologia composicional dos concentrados de Nb-tantalatos – síntese da diversidade observada.

A – campo pegmatítico NYF hiperaluminoso a LCT petalítico, espoduménico, lepidolítico e turmalínico



(Serra de Arga); B – pegmatitos de Senhora de Assunção, Dornas e Muro Alto; C – aplito-pegmatito de Portomé,

LCT lepidolítico, turmalínico; D – Covide – grupo pegmatítico NYF; E – disseminações em apogranitos a "stock-schaiders".

Figure 24 – Compositional systematics of Nb-Ta concentrates: A – pegmatite field of NYF type to LCT petalite, spodumene, lepidolite or tourmaline

enrich types; B – Senhora de Assunção, Dornas and Muro Alto pegmatites; C – Portomé aplite-pegmatite, LCT lepidolite to tourmaline enrich;

D – Covide NYF pegmatite group; E – disseminated Nb-Ta oxide minerals occurring in Montesinho and Seixigal stock-schaiders.

38 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética

Figura 25– Concentrados densos obtidos em placeres e pegmatitos triturados – observações em MEV-ER:

1 – concentrado de aluvião da Serra de Arga essencialmente magnetítico (MT) com algumas ixiolites assinaladas

com círculos; 2 – concentrado essencialmente granatífero de aluvião da Correlhã (várzea do Rio Lima) com alguma

Mn-tantalite; 3 – concentrado de uma zona não intervencionada dos aluviões da Ribeira da Gaia com grande

diversidade de portadores específicos de Ta; 4 – concentrado homogéneo de Mn-tantalite com alto teor de Ta

(>30% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) obtido em triturados de fácies aplito-pegmatítica LCT, lepidolito-albítica da região de Vela, Guarda;

5 – concentrado heterogéneo com alto conteúdo de Ta (>30% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) obtido em triturado de unidade micácea tardia,

com berilo, dos pegmatitos de Muro Alto; 6 – imagem de ER e reprodução em FALSA COR do produto bastante

homogéneo de um triturado da matriz de caulino ± calcedónia da brecha de colapso do Pegmatito Sul do Grupo de

Senhora de Assunção, Sátão; 7 – imagem de ER e reprodução em FALSA COR do produto heterogéneo de um

triturado de aplito-pegmatito bandado, LCT com lepidolite, de Covelinhas, Peso da Régua. Acrónimos:

Mn-Ta – mangano-tantalite; Fe-Nb – ferro-columbite; MC – microlite; TP – topázio; ZR – zircão; GR – granada;

MT – magnetite; CS – cassiterite; IX – ixiolites; PI – pirocloro; CT – columbite-tantalite.

Figure 25 – Heavy mineral concentrates from placer sediments and crushed pegmatite samples – SEM-BSE imagery: 1 – Serra de Arga placers - magnetite-rich with some ixiolite (circles); 2 – placers from meadowlands and river banks of Correlhã (Rio Lima) - garnet-rich with some Mn-tantalite;

3 – alluvial deposits of Ribeira da Gaia Valley - large mineralogical diversity in what concerns Ta minerals; 4 – homogeneous Mn-tantalite ore with high

Ta (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> >30%) obtained from a crushed sample of an LCT lepidolite zone in one of the Vela (Guarda) pegmatites; 5 – heterogeneous high Ta

concentrate (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> >30%) obtained from a crushed sample of a mica-beryl late unit from Muro Alto pegmatite; 6 – BSE image and false color

reproduction for an highly homogeneous product separated from a kaolin+chalcedony matrix of the collapse breccia of Senhora de Assunção South

pegmatite (Sátão); 7 – BSE image and false color reproduction for a heterogeneous product separated from a layered aplite-pegmatite of lepidolite LCT

type from Covelinhas, Peso da Régua. Acronyms: Mn-Ta – mangano-tantalite; Fe-Nb – ferro-columbite; MC – microlite; TP – topaz; ZR – zircon;

GR – garnet; MT – magnetite; CS – cassiterite; IX – ixiolites; PI – pyrochlore; CT – columbite-tantalite.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes  
39

Figura 26– Síntese sobre a diversidade de depósitos de Ta portugueses e propriedades das respectivas cargas tantalíferas

– mineralometria, teor e recursos.

Figure 26 – Diversity of Portuguese tantalum deposits and its Ta contents – mineralogy, grade and resources.

seriedade a possibilidade de obtenção sucedânea de concentrados de Ta assente em vários pressupostos essenciais:

a) previsivelmente, as fases tantalíferas farão parte dos produtos a regeitar na depuração de concentrados litiníferos; o seu aproveitamento poderá ser um complemento tendente para o aproveitamento integral das jazidas;

b) no caso das jazidas de espodumena e petalite, os Nb-tantalatos podem não estar intimamente associados com as unidades internas produtivas para Li, mas ainda assim, podem existir em unidades independentes susceptíveis de des -mon te concomitante;

c) no caso das jazidas lepidolíticas existe uma associação muito marcada entre concentrações de Li e Ta e os teores de Ta podem ser extraordinariamente altos, o que justifica equacionar

o aproveitamento integrado dos dois minérios.

Bibliografia

Arribas, A., 1979. Mineral paragenesis in the Variscan metallogeny of Spain. *Stud. Geol.*, 14: 223-60.

Bartels, A., Holtz, F. & Linnen, R. L., 2010. Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. *American Mineralogist*, 95: 537-544.

Barth, M., McDonough, W. & Rudnik, P., 2000.

Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chem. Geol.*, 165: 197-213.

Bravo Silva, P., Leal Gomes, C. & Neiva, A.M.R. , 2006. Complex and oscillatory fractionation trends in Nb-Ta oxide minerals from Gouveia granite – pegmatites, Central Portugal. VII Congresso Nacional de Geologia, livro de resumos, vol.III, 1199-1201.

Cotelo Neiva J. M., 1954. Pegmatitos com cassiterite e tantalite-columbite da Cabração, Ponte do Lima, Serra de Arga. *Memórias e Notícias* 36, 61.

Cotelo Neiva, J. M., 1944. Tantalite-columbite de la “Serra de Arga”. *Estudos, Notas e Trabalhos, SFM*, 9: 111-113.

Dias, P., 2012. Análise Estrutural e Paragenética de Produtos litológicos e mineralizações de segregação

metamórfica – Estudo dos veios hiperaluminosos e protólitos poligénicos Silúricos da Região da Serra

de Arga (Minho). Tese de Doutoramento, Univ. Minho, 475 p.

Ferreira J., Araújo P., Guimarães F., Pereira M. & Leal Gomes C., 2014. Geoquímica do Ta e estrutura da sua distribuição no Grupo Pegmatítico Granítico de Senhora da Assunção, Sátão, Centro de Portugal. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial II: 781-785.

Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M. L., 1987. Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In *Geologia de los granitoides Y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Carnicero, A., Gonzalo, J. C., López Plaza, M. & Rodríguez Alonso, M. D. (Eds.), Ed. Rueda, Madrid, 37-51.

Leal Gomes, C., 1991. Caracterização das niobites-tantalites do campo aplito-pegmatítico de Arga - Minho (N de Portugal). *Geociências. rev. univ. Aveiro*, 6, (1,2): 173-191.

Leal Gomes, C., 1995. Discriminação do espectro de recursos base associados à evolução residual do Campo Filoniano de Arga - Minho - N de Portugal. *Estudos Notas e Trabalhos Inst. Geol. Min.*: 37, 59-86.

Leal Gomes, C., 2005. Contributo para a Sistemática dos Pegmatitos Graníticos referentes à Cintura Varisca Centro-Ibérica: Características a considerar e Quadro Tipológico. *Geonovas*: 19, 35-45.

Leal Gomes, C., 2010. Distribuição espacial dos recursos de materiais cerâmicos pegmatíticos no Noroeste de Portugal – Matriz orogénica e metalogénica relacionada. In *Ciências Geológicas – Ensino e investigação e sua História*. Coteló Neiva, J. M., Ribeiro, R., Victor, M. Noronha, F., Ramalho, M. (Eds.), II, 25-35.

Leal Gomes, C., Dias, P. & Guimarães F., 2009. Paragenesis and compositional evolution of high Ta oxides in earlier Variscan pegmatoids of Northern Portugal. *Estudos Geológicos*, 19 (2): 162-166.

Leal Gomes, C. & Nunes, J. E., 2003. Análise paragenética e classificação dos pegmatitos graníticos da Cintura Hercínica Centro-Ibérica. *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos*, Coimbra – Imprensa da Universidade, II, 85-109.

Linnen, R. L. & Cuney, M., 2005. Granite-related rareelement deposits and experimental constraints on TaNb-W-Sn-Zr-Hf mineralization. In *Rare Element Geochemistry and Mineral Deposits*. Linnen, R. L., Samson, I. M. (eds), Geological Association of Canada Short Course Notes, 17, 45-68.

Moura, S., Leal Gomes, C. & Lopes Nunes, J., 2010. As assinaturas LCT e NYF em aplito-pegmatitos Variscos de metais raros do NW de Portugal. *e-Terra* ISSN 1645-0388, Revista Electrónica de Ciências da Terra, VIII Congresso Nacional de Geologia.

Pereira E., Moisés Iglésias M. & Ribeiro A., 1984. Leucogranitos; stockscheider e o controlo estrutural da mineralização na mina de Montesinho, Bragança. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 70 (I): 11-22.

Pereira, M. F. C.; Leal Gomes, C. & Aires-Barros, L., 1998. Análise estrutural e modo de instalação do pegmatito granítico de Pereira de Selão - Vidago (N de Portugal). *Comunicações, I G M*, 84, (1): B-43-B-46.

- Pereira, M. & Leal Gomes, C., 2014. Paragéneses con -tras tantes no campo pegmatítico de Arga (NW de Portugal), diversidade e equilíbrio. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial I, 181-185.
- Pinto, M. S., 1985. Escala geocronológica e granitóides portugueses antecenozóicos: uma proposta. *Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, 99: 157-166.
- 40 Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética
- Pinto, M. S.; Casquet, C.; Ibarrola, E.; Corrége, L. G. & Ferreira, M. P., 1987. Síntese geocronológica dos granitóides do Maciço Hespérico. *Libro homenaje a L. C. Garcia de Figuerola*, ed. Rueda, Madrid, 37-51.
- Puga, M. ; Leal Gomes, C. & Vide, R., 2003. Modo de ocorrência e ensaios de aplicação industrial da petalite do jazigo pegmatítico da Queiriga – Sátão (Viseu). *Resumos, IV Congresso Ibérico de Geoquímica*, Coimbra, 196-198.
- Turnock, A. C. 1966. Synthetic wodginite, tapiolite and tantalite. *Canad. Mineral.*, 8: 461- 470.
- Van Lichtenvelde, M.; Salvi, S.; Beziat, D.; Linnen, R. L., 2007. Textural features and chemical evolution in tantalum oxides: magmatic versus hydrothermal origins for Ta mineralization in the Tanco Lower Pegmatite, Manitoba, Canada. *Economic Geology* 102: 257-276.
- ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEÓLOGOS Carlos Augusto Alves Leal Gomes